

조종석 자동화 시스템의 안전저해요인에 관한 연구 (A Study on the Impedimental Factors for Flight Safety of Cockpit Automation Systems)

한 경 근¹⁾

Han, Kyung-Keun

이 병 기²⁾

Lee, Byung-Kee

ABSTRACT

Accident statistics cite the flightcrew as a primary contributor in about 70 percent of accidents involving transport category airplanes. The introduction of modern flight deck designs, which have automated many piloting tasks, has reduced or eliminated some types of flightcrew errors, but other types of errors have been introduced. To identify the impedimental factors in highly automated modern airplane cockpit systems, this study used readily available information sources and case study. From the evidence, this study identified issues that show vulnerabilities in pilot management of automation, situation awareness, communication between pilots and controllers, pilot's training and evaluation methods. The next step will require the aviation community to solve these problems for the safety improvement.

1. 서론

1. 1 연구의 목적

항공기의 공기역학적 조종편을 제어하여 비행자세의 안정성을 확보하기 위한 초보적 자동비행장치가 도입된 이래 공학의 발달은 항공기 조종석 설계에 진보된 자동화 시스템을 추가적으로 적용할 수 있게 하였다.

1) 한국항공대학교 비행교육원

2) 명지대학교 산업공학과

조종석 자동화의 목적은 크게 안전성의 확보와 경제성의 향상이라고 볼 수 있으며 신뢰도 높은 첨단기술의 도입으로 조종석 자동화의 궁극적인 목적은 어느 정도 달성되었다고 볼 수 있다. 이러한 사실은 운송용항공기의 세대별 사고율을 비교하여 보면 쉽게 알 수 있다. 보잉사의 통계자료에 의하면 1988년부터 1997년까지 전세계적으로 운영된 운송용항공기의 세대별 사고율(사고건수/100만번이륙)은 진보된 자동화 시스템을 추가적으로 적용한 제3세대 이후의 항공기의 사고율이 감소되었음을 알 수 있다³⁾.

그러나 제2세대 항공기 이후의 사고율은 거의 일정하게 유지되고 있으며 초기 Widebody 항공기의 경우에는 사고율이 그 이전 세대의 항공기 사고율보다 오히려 높게 나타났다. 또한 전세계적으로 운영되고 있는 운송용항공기의 이륙횟수가 1977년의 약 800만회에서 1997년 1,780만회로 2배 이상 증가하였고 이러한 증가추세가 계속되고 있다는 사실을 고려할 때 사고율이 일정하더라도 사고건수는 오히려 증가하였음을 알 수 있다. 이러한 증가추세가 계속된다면 비록 사고율은 감소한다 하더라도 사고건수는 지속적으로 증가할 것이다. 일반인들의 항공운송 안전성에 대한 신뢰도는 일정기간의 사고율보다는 사고건수에 의해 결정됨을 고려할 때 진보된 항공기에 대한 일반적인 신뢰도가 향상되었다고 보기는 힘든 것이다.

또한 사고의 원인을 분석하여 보면 전 세계적 인 운송용항공기 사고의 전체 사고요인중 운항승무원에 의한 사고가 70%에 달하여⁴⁾ 인적요인에 의한 항공기 사고가 아직도 가장 큰 비중을 차지하고 있고, 이륙, 상승 및 접근, 강하단계에서의 사고비율이 오히려 증가되고 있어 자동화시스템이 특정 비행단계에서의 조종사 업무부하 감소에 충분히 기여하지 못하고 있다는 문제점에 주목하게 되었다.

항공기 안전성과 효율성 향상을 위해 도입된 조종석의 자동화는 컴퓨터기술의 응용으로 항공기 시스템의 많은 기능이 자동화되고 통합운행을 가능케 하여 특정형태의 조종사과실이 사라지거나 감소하게 한 반면에 새로운 형태의 조종사과실을 유도하였고 이러한 새로운 형태의 과실에 대한 연구의 필요성이 대두되고 있다.

본 연구에서는 현재 전세계적으로 운용되고 있는 고도로 자동화된 조종석시스템을 구비한 소위 제3세대 이후의 운송용 항공기 사고사례를 분석하여 조종석자동화 시스템의 비행안전저해요인을 도출하고 이에 대한 대책을 제시함으로써 조종석 자동화의 궁극적 목표중 하나인 안전성 향상에 도움을 주고자 한다.

1. 2 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 항공기 자동화시스템의 일반적인 문제점을 문헌조사를 통하여 수행하였고, 고도로 자동화된 첨단 조종석 자동화 시스템을 적용하고 있는 초기의 Widebody 항공기 세대 이후의 기종에 대한 사고사례를 분석하여 이들 자동화 시스템의 안전저해요인을 도출하였다.

분석대상기종은 초기의 Widebody 항공기 세대 이후의 기종으로 제한하였고, 이중

3) Boeing 사, Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents, pp 17-18, 1998. 6

4) ibid.

총 이륙횟수가 10만회 이하인 에어버스사의 A330, A340, 맥더널더글러스사의 MD-90, 보잉사의 B-777등은 대상에서 제외하였다. 또한 구소련연방에서 제작된 항공기와 군사적 목적으로 사용중 발생한 사고 역시 분석 대상에서 제외하였다. 또한 분석의 목적상 사고유발요인이 인적요인에 기인하고 자동화시스템에 관련성이 있는 사고사례로 분석대상을 제한하였다.

위에서 언급한 원칙에 따라 1972년부터 1997년까지 사고조사가 완료된 해당사례를 NTSB 보고서, 미 연방항공국(Federal Aviation Administration) Human Factor팀의 보고서, Aviation Safety Network의 Database에 제시된 관련 사고사례 보고서 등을 근거로 사고요인을 분석하였다. 또한 본 논문에서 사용한 항공기의 세대구분은 총중량 60,000파운드 이상의 운송용항공기로 상용화된 순서에 따라 다음과 같이 구분하였다.

- 제1세대 : Comet 4, B-707/720, DC-8, CV-880/990, Caravelle
- 제2세대 : B-727, Trident, VC-10, BAC 1-11, DC-9, B-737-100/200, F-28
- 초기의 Widebody : B-747-100/200/300/SP, DC-10, L-1011, A-300
- 현세대 (제3세대) : MD-80, B-757, B-767, A-310, BAe 146, A-300-600, B-737-300/400/500, F-100, A-320/319/321, B-747-400, MD-11, A340, A330, MD-90, B-777

2. 조종석 자동화의 이론적 고찰

2. 1 조종석 자동화의 일반적 고찰

자동화의 사전적 정의는 '공정의 대부분 혹은 전체공정에 있어서 시스템의 사용 또는 통합이 기계나 전자장비의 작동 자체로 자동적으로 이루어지는 것.'(Webster's New World Dictionary, 1970), '계속되는 단계를 통하여 제품생산을 자동적으로 통제하는 것 즉, 자동화된 장비를 통하여 정신적, 육체적 노동력을 절약하는 것.'(Oxford Dictionary)으로 정의하고 있다.

사전적 의미에서는 자동화의 역할이 인간의 노동력을 대신한다는, 자동화의 기본적인 장점에 대하여 정의하고 있다. 이와 비교하여 조종석 자동화(Flight Deck Automation)는 조종사가 기계에 대하여 수행하여야 하는 어떤 임무 혹은 임무의 한 부분을 조종사의 선택에 따라 기계에 적절히 할당하는 것.⁵⁾ 이라고 정의된다. 이러한 정의에는 감독, 의사결정등의 인간업무를 기계가 대신하는 경고체계를 포함하고 있다.

항공기의 자동화 도입은 항공기의 최초 발명 이후 꾸준히 이어졌다. 1930년대 중반에 조종석에 적용된 초보적 자동화는 그 이후 지속적으로 발전을 거듭하였고 1950년대에는 비교적 정교한 모델이 DC-6와 같은 항공기에 장착되었다.

5) ICAO Circular, Human factor Digest No. 5, ICAO, 1992

이후 자동화시스템은 정확도와 신뢰도에 있어서 지속적인 향상을 유지하였고 자동 비행장치(Autopilots)와 FD(Flight Director), RNAV(Area Navigation), 오토트로틀(Autothrottle), 오토스포일러 (Autospoiler), 오토브레이크(Autobrake)등이 자동화시스템의 구성요소에 추가되었다.

1980년대초, 항공기 자동화의 혁신적 발전을 가능하게 한 것은 마이크로프로세서의 급속한 발전이라고 할 수 있다. 1982년에 선보인 보잉사의 B-767기는 최초의 'Glass Cockpit' 여객기로 기록되고 있으며 제 3 세대 운송용 여객기의 최초 모델이라고 할 수 있다. 보잉사의 B-767기에 이어 각 항공기 제작사에서는 'Glass Cockpit'을 채택한 항공기를 생산하기 시작하였고 최근에는 인간중심적 조종석설계 개념을 도입한 B-777 등이 상용화되었다.

조종석 자동화의 정도가 변화되면서 조종사의 역할 즉, 인간-기계시스템 안에서 인간의 역할도 함께 변화되었다. Sheridan은 자동화의 정도를 10단계 즉, 완전한 수동(100% 수동)에서 완전자동(100% 컴퓨터 조종)까지로 규정하였다. 현존하는 모든 자동화 시스템은 이 범주 안에 속하며 자동화의 정도가 증가하는 경향을 보이고 있고 의사결정을 포함하는 많은 인간역할이 감소되고 있다. <표 1>에 Sheridan의 자동화의 의사결정 정도에 따른 단계를 나타내었다.

<표 1> 자동화의 의사결정 정도에 따른 단계

단 계	정 의
100% 인간에 의한 조종 ↑	1 인간이 대안을 생각하고 실행하며, 의사결정을 수행한다.
	2 컴퓨터가 몇 가지 대안을 제시하고 인간은 의사결정시 이를 무시할 수 있다.
	3 컴퓨터가 몇 가지 한정된 대안을 제시하고 인간은 수행을 결정한다.
	4 컴퓨터가 몇 가지 한정된 대안을 제시하고 그중 하나를 제외한다. 하지만 아직 인간에 의해 의사결정이 이루어지고 수행된다.
	5 컴퓨터가 몇 가지 한정된 대안을 제시하고 그중 하나를 제외한다. 인간이 이를 수락하면 컴퓨터가 수행한다.
	6 컴퓨터에 의해 의사결정이 이루어지지만 수행 전에 인간이 거부할 수 있는 기회를 준다.
	7 컴퓨터에 의해 의사결정이 이루어지고 수행된다. 그러나 수행 후 반드시 인간에게 알린다.
	8 컴퓨터에 의해 의사결정이 이루어지고 수행되며 인간이 요구할 경우 이를 알린다.
↓ 100% 컴퓨터에 의한 조종	9 컴퓨터에 의해 의사결정이 이루어지고 수행되며 완벽한 수행이 보장될 경우에만 인간에게 알린다.
	10 컴퓨터가 필요하다고 판단하면 의사결정이 이루어지고 수행되며 완벽한 수행이 보장될 때에만 인간에게 알린다.

2. 2 조종석 자동화의 필요성

운영자나 제조업자는 그들의 투자에 대한 최대의 이익을 원한다. 새로운 시스템을 개발하고 실용화시키는데 있어서 투자의 결심은 쉽게 이루어질 수 없으며 운영자나

제조업자는 장기적 이익과 안전성을 가져올 자동화에 대하여 신중하게 고려하게 되었다.

조종석 자동화 필요성은 대부분 항공기 운항과 공역 및 공항사용의 효율성을 향상시키고 다양한 환경에서의 운항능력을 향상시키는데 초점을 맞추고 있다. 항공기 제작자는 이러한 다양한 요구조건을 만족시키기 위하여 보다 높은 신뢰도와 효율성, 적재능력, 항법의 정밀성 등을 향상시킴과 동시에 연료소모의 감소, 정비 및 승무원 비용을 감소시키는 방안을 연구하게 되었다. 항공기 제작자와 항공사는 결국 조종석의 자동화만이 이러한 목적을 충족시킬 수 있다고 결론지었다.

Earl L. Wiener는 조종석 자동화가 이처럼 급속도로 이루어지고 있는 이유를 '마이크로프로세서와 디스플레이 시스템의 급속한 발전 때문이다'라고 하면서 조종석자동화의 급속한 발전이 가능하였던 주된 요인을 다음과 같은 8가지 항목으로 정리하였다.⁶⁾

- (1) 활용 가능한 기술의 축적(마이크로프로세서 기술의 발전).
- (2) 현대적 항공기의 특성상 조종에 고도의 기술적 수준이 요구되어 인적요소에 기인된 사고비율이 높은 비중을 차지하고 있다. 이러한 인간오류의 확률을 줄이고 안전성을 확보하기 위하여 인간의 기능을 기계의 기능으로 대체.
- (3) 자동화로 인하여 경제성, 신뢰성, 정비 및 유지관리의 용이성이 확보.
- (4) 조종사 최소 탑승인원의 감소에 따르는 업무부하의 증가를 자동화 시스템이 담당.
- (5) 정밀한 항법비행은 인간의 능력한계를 초과하므로 조종석과 지상장비의 자동화를 필요로 함.
- (6) 디스플레이의 발달로 이전에 사용되지 않았던 부호나 색상, 문자, 3차원 그래픽, 투시도, 지도 등의 정보를 나타낼 수 있게 되었고, 조종사는 다양한 정보를 하나의 통합 디스플레이에서 얻을 수 있게 됨.
- (7) 디지털시스템은 디스플레이의 유연성만을 제공한 것이 아니라 조종의 유연성도 함께 가능하게 하였으며 조종석 공간을 최적화, 불필요한 많은 계기, 장비들이 조종석에서 사라지게 됨.
- (8) 군 임무를 위한 특별한 요구의 충족을 위하여 항공기는 다양한 임무와 무기체계의 운영, 정찰용장비등을 동시에 운영하여야 하며 이러한 인간능력의 한계를 벗어나는 업무를 동시에 수행하기 위해 조종석 자동화가 도입됨.

3. 사례분석

3. 1 사고사례 분석 방법

항공기 사고요인을 분석하는 방법은 구분하는 주체나 목적 등에 따라 매우 다양하다. 일반적인 사고분석에 사용되는 분석모델에서는 사고의 요인을 조종사 과실, 항공기 결함, 관제 및 운항환경, 기상조건 등으로 구분한다. 이러한 일반적인 분석방법은

6) Earl L. Wiener, 'Human Factors in Aviation', Academic Press. Inc., 1988

안전평가척도로 사용될 경우 비교적 중요한 정보를 제공할 수 있다.

학자에 따라서는 사고분석모델로 Human Factors, 기상, 공중충돌, 정비 등으로 크게 구분하고 인적요인을 다시 CRM(Crew Resource Management 혹은 Cockpit Resource Management), 조종사 의사결정, 조종석 내에서의 주의산만이나 방심, 조종석내에서의 규율 등으로 세분화시켜 분석하기도 한다.⁷⁾ 또한 인적요인에 의한 사고분석의 경우 분석계획구조로서 SHELL 모델⁸⁾을 이용하여 각각의 요소들 사이에 상호관계를 분석하기도 한다.⁹⁾ 본 연구에서는 사고분석에 사용되는 분석계획 구조로 다음과 같이 구분하여 사고사례를 분석하였다.

- (1) 조종사의 자동화 시스템에 대한 관리와 감독(Automation Management)
- (2) 조종사의 상황인지(Situation Awareness)
- (3) 의사소통과 협동(Communication and Coordination)
- (4) 설계, 법, 훈련과정상의 문제(Design, Regulatory, Training)
- (5) 평가, 표준화, 설계와 형식승인의 방법과 도구의 문제(Criteria, Standards)
- (6) 조종사의 지식 및 기량(Knowledge and Skill)
- (7) 문화적 혹은 언어장애(Culture and Language)

일반적인 항공기 사고분석 모델을 배제한 이유는 분석에 이용된 사례가 인적요인에 의한 조종석 자동화와 관련된 사고로서 이미 기본적인 분류가 되어있기 때문이며 일반적인 사고분석은 실질적이고 구체적인 문제점을 도출하고 분석하여 재발방지를 위한 환류(Feedback)를 제공한다는 본 논문의 목적수행에 제한성을 갖기 때문이다. 또한 비행단계별 분석을 통하여 조종석 자동화시스템의 추가적 도입이 조종사의 업무부하가 증가하는 특정 비행단계에서 사고를 감소에 영향을 주었는지 조사하였다.

3. 2 사고사례 개요

본 논문에서 분석한 관련 사례의 사고개요는 다음과 같다.

<사례 1>

(일시)	(장소)	(항공기형식)	(소속항공사)
■ 1972. 12	미국 마이애미	L-1011	Eastern Air Lines
■ 피 해 :	항공기 전파		
■ 사고요인 :			

7) S. S. Krause, Aircraft Safety : Accident Investigations, Analyses, & Applications, 1996, McGraw Hill.

8) SHELL모델은 인간(Liveware)을 중심으로 3가지 개별적이거나 집단적인 요소들의 상호작용을 종합적이고 체계적으로 나타내기 위하여 1972년 Elwyn Edward에 의해 고안되었다. S는 Software, H는 Hardware, L은 Liveware를 나타낸다.

9) Pariès, Investigation Probed Root Causes of CFIT Accident Involving a New Generation Transport, ICAO Journal, 1994. Jul-Aug,

- 자동비행시스템의 모드인지의 부적절
- 항공기의 고도, 속도, 외부지형, 시스템 상태인지 부족
- 조종사의 절차 불이행

<사례 2>

- 1973. 7 미국 보스톤 DC-9-31 Delta Air Lines
- 피 해 : 항공기 전파
- 사고요인 :
 - 항공기의 고도, 속도, 외부지형, 시스템 상태인지 부족

<사례 3>

- 1984. 2 New York DC-10-30 Scandinavian Airlines
- 피 해 : 항공기 전파
- 사고요인 :
 - 항공기의 고도, 속도, 외부지형, 시스템 상태인지 부족

<사례 4>

- 1985. 2 San Francisco B747 SP China Airlines
- 피 해 : 항공기 기체일부 파손
- 사고요인 :
 - 조종사의 자동화시스템에 대한 이해부족
 - 자동비행 시스템의 모드인지의 부적절
 - 항공기의 고도, 속도, 외부지형, 시스템 상태인지 부족
 - 조종사의 절차 불이행

<사례 5>

- 1988. 6 Habsheim A320 Air France
- 피 해 : 항공기 전파
- 사고요인 :
 - 조종사의 자동화시스템에 대한 이해부족
 - 조종사의 자동화시스템 사용수준의 결정상 판단 부적절
 - 항공기의 고도, 속도, 외부지형, 시스템 상태인지 부족
 - 조종사의 해당 항공기 자동화 원리 이해 부족

<사례 6>

- 1988. 7 Gatwick A320 Unknown
- 피 해 : 항공기 전파
- 사고요인 :

- 자동비행 시스템의 모드인지의 부적절
- 항공기의 고도, 속도, 외부지형, 시스템 상태인지 부족

<사례 7>

- 1989. 1. Helsinki A300 KAR
- 피 해 : 비정상 자세 진입 후 수정
- 사고요인 :
 - 항공기의 고도, 속도, 외부지형, 시스템 상태인지 부족

<사례 8>

- 1989. 6 Boston B767 Unknown
- 피 해 : 비정상 경로 비행
- 사고요인 :
 - 조종사의 자동화시스템에 대한 이해부족
 - 조종사의 자동화시스템 사용수준의 결정상 판단 부적절
 - 자동비행 시스템의 모드 인지부족
 - 항공기의 고도, 속도, 외부지형, 시스템 상태인지 부족

<사례 9>

- 1990. 2 Bangalore A320 Indian Airlines
- 피 해 : 항공기 전파
- 사고요인 :
 - 조종사의 자동화시스템에 대한 이해부족
 - 자동비행 상태의 모드인지 부족
 - 조종사의 해당 항공기 자동화 원리 이해 부족

<사례 10>

- 1990. 6 San Diego A320 Unknown
- 피 해 : 최저강하고도 이하로 강하한 직후 수정
- 사고요인 :
 - 조종사의 자동화시스템에 대한 이해부족
 - 항공기의 고도, 속도, 외부지형, 시스템 상태인지 부족
 - 조종사의 해당 항공기 자동화 원리 이해 부족

<사례 11>

- 1991. 2 Moscow A310 Interflug
- 피 해 : 비정상 자세 진입 후 수정
- 사고요인 :

- 피 해 : 항공기 활주로 이탈
- 사고요인 :
 - 조종사의 자동화시스템에 대한 이해부족
 - 조종사의 자동화시스템 사용수준의 결정상 판단 부적절
 - 자동비행 시스템의 모드인지부족
 - 항공기의 고도, 속도, 외부지형, 시스템 상태의 인지
 - 설계, 훈련상의 문제

<사례 17>

- 1994. 4 Nagoya A-300-600 China Airlines
- 피 해 : 항공기 전파
- 사고요인 :
 - 조종사의 자동화시스템에 대한 이해부족
 - 조종사의 자동화시스템 사용수준의 결정상 판단 부적절
 - 자동비행 시스템의 모드인지부족
 - 훈련상의 문제
 - 조종사의 지식 및 기량부족

<사례 18>

- 1994. 6 Manchester B757-200 Britannia
- 피 해 : 비정상 자세 진입 후 수정
- 사고요인 :
 - 자동비행 시스템의 모드인지부족
 - 설계상의 문제

<사례 19>

- 1994. 6 Toulouse A-330 Airbus
- 피 해 : 항공기 전파.
- 사고요인 :
 - 조종사의 자동화시스템에 대한 이해부족
 - 자동비행 시스템의 모드인지부족
 - 훈련상의 문제

<사례 20>

- 1994. 9 Paris-Orly A 310-300 Tarom
- 피 해 : 비정상 자세 진입 후 수정
- 사고요인 :
 - 자동비행 시스템의 모드인지부족

- 항공기의 고도, 속도, 외부지형, 시스템 상태의 인지
- 설계상의 문제

<사례 21>

- 1994. 10 Roselawn ATR-72 American Eagle
- 피 해 : 항공기 전파
- 사고요인 :
 - 항공기의 고도, 속도, 외부지형, 시스템 상태의 인지
 - 위험상황의 인지부족
 - 조종사로서의 기본 자세 불량

<사례 22>

- 1995. 3 Bucharest A310-300 Tarom
- 피 해 : 항공기 전파
- 사고요인 :
 - 조종사의 자동화시스템에 대한 이해부족
 - 항공기의 고도, 속도, 외부지형, 시스템 상태의 인지
 - 설계상의 문제

<사례 23>

- 1995. 11 Bradley MD-80 American Airlines
- 피 해 : 항공기 전파
- 사고요인 :
 - 자동비행 시스템의 모드인지부족
 - 항공기의 고도, 속도, 외부지형, 시스템 상태의 인지
 - 경고체제의 인지부족
 - 조종사의 지식 및 기량

<사례 24>

- 1995. 12 Cali B757-200 American Airlines
- 피 해 : 항공기 전파
- 사고요인 :
 - 항공기의 고도, 속도, 외부지형, 시스템 상태의 인지
 - 조종사간의 혹은 조종사-관제사간의 부적절하거나 불충분한 의사소통
 - 조종사의 지식 및 기량

<사례 25>

- 1996. 2 Puerto Plata B757-200 Birgenair

- 피 해 : 항공기 전파
- 사고요인 :
 - 자동비행 시스템의 모드인지부족
 - 항공기의 고도, 속도, 외부지형, 시스템 상태의 인지
 - 조종사의 지식 및 기량

<사례 26>

- 1997. 7 Guam B747-200 KAL
- 피 해 : 항공기 전파
- 사고요인 :
 - 조종사의 상황인지 부족
 - 조종사간, 조종사-관제사간의 부적절한 의사소통
 - 조종사의 훈련, 지식 및 기량

3. 3 사고사례 분석

3. 3. 1 사고요인 분석

각 사고의 요인은 다중요인이 대부분으로 특히 조종사의 자동화 시스템에 대한 관리와 감독(Automation Management)부족과 조종사의 상황인지(Situation Awareness)의 부족에 따른 사고요인이 동시에 나타나는 경우가 많았다(14건).

가장 많은 빈도를 나타낸 요인은 조종사의 상황인지의 부족으로 전체 사고 26건중 24건의 사고요인에 포함되었고(92.3%) 세부항목으로는 항공기의 고도, 속도, 외부지형, 시스템상태에 대한 인지부족이 20건, 자동비행시스템의 모드인지 부적절이 13건으로 나타났다. 두 번째 많은 빈도를 나타낸 사고요인은 조종사의 자동화 시스템에 대한 관리와 감독의 부적절로 이와 관련된 사고는 16건으로 나타났다(61.5%). 세부요인으로는 조종사의 자동화 시스템에 대한 이해도 부족이 15건, 자동화시스템의 사용수준의 결정상의 차이 7건, 절차 불이행 3건의 순으로 나타났다. 그밖에 설계, 법, 훈련과정상의 문제가 8건(30.8%)으로 세부요인으로는 설계상의 문제점 및 훈련상의 문제점이 각각 5, 6건으로 나타났다. 조종사의 지식 및 기량부족에 의한 사고는 7건(26.9%)으로 세부항목으로는 조종사의 기본적인 지식과 기량 부족에 의한 사고가 6건으로 나타났다. 의사소통과 승무원 협조에 관련된 사고가 4건(15.4%) 발생하였고 세부항목에는 조종사와 관제사의 의사소통의 부적절에 의한 사고가 가장 많은 빈도를 나타내었다.

평가, 표준화, 설계와 형식승인 과정의 방법과 도구의 문제(Criteria, Standards) 및 문화적 혹은 언어장애(Culture and Language)에 관련된 사고는 발견되지 않았으나 이러한 요인은 항공기사고의 직접요인으로 가시화되기 힘든 요소이기 때문에 간접적인 요소로 작용한 것으로 보인다. 또한 이들 요인의 위와 같은 특성으로 인하여 사고사례나 다른 분석의 결과 사고요인으로 도출되지 않기 때문에 이에 대한 대책의 수립과 연구가 제대로 이루어지지 못했던 것도 사실이다.

비행단계별 분석의 결과 이륙, 상승, 접근 및 착륙단계에서의 사고발생 비율이 약 85%에 달하여 운송용항공기 전체 평균 74% 보다 오히려 높게 나타났다. 즉, 진보된 조종석 자동화 시스템을 도입한 제 3 세대 항공기도 특정 비행단계에서 조종사의 업무부하를 감소시키고 오류발생 빈도를 감소시키는 문제에 있어서 괄목할 만큼의 개선이 이루어졌다고 보기는 힘든 것으로 나타났다. <표 3>.

<표 2> 발생빈도

사 고 요 인	발생빈도	비 율(%)
1. 조종사의 자동화 시스템에 대한 관리와 감독	16	61.5
2. 조종사의 상황인지	24	92.3
3. 의사소통과 협동	4	15.4
4. 설계, 법, 훈련과정상의 문제	8	30.8
5. 평가, 표준화, 설계와 형식승인 과정의 방법과 도구의 문제	.	.
6. 조종사의 지식 및 기량	7	26.9
7. 문화적 혹은 언어장애	.	.

※ 발생비율은 총 26건의 사고에 대한 각각의 사고요인 발생비율임.

<표 3> 비행단계별 사고발생 건수

구 분	지상활주	이륙 및 상승	순 항	감 하	접근 및 착륙	기 타	계
발생빈도	.	3	2	1	19	1	26
비율(%)	0	11.6	7.7	3.8	73.1	3.8	100

4. 문제점과 대책

4. 1 조종석 자동화 시스템의 문제점

본 연구에서 수행한 사고사례분석 결과를 기초로 하여 도출한 고도로 자동화된 항공기의 조종석 자동화 시스템의 문제점은 다음과 같다.

- 사고에 직접 관련이 된 사고요인중 조종사의 상황인지와 조종사의 자동화에 대한 관리 감독 등의 요인이 가장 많은 빈도를 나타내었다. 이는 항공기의 조종석 자동화 시스템과 조종사의 인터페이스에 있어서 사고를 유발할 수 있는 요소가 설계과정에서 완전히 제거되지 못하였다는 결론을 내릴 수 있게 하였고 조종사의 자동화 시스템에 대한 관리와 감독능력, 특히 자동화시스템에 대한 이해부족은 전반적인 자동화시스템 운영 중에 사고유발요소로서 작용할 수 있는 잠재요소로 지적할 수 있다.

- 사고요인중 의사소통과 협동, 설계, 법, 훈련과정상의 문제, 조종사의 지식 및 기량 등의 문제점으로 인하여 발생한 사고는 총 19건으로, 조종사간의 의사소통, 조종사-관제사간의 의사소통 부적절에 의한 사고, 자동화 시스템에 대한 지식 및 기량 부족, 수동조작능력의 저하로 야기된 사고 등에서 문제점이 나타났다. 특히 국내항공사의 2건의 사고사례에서는 관제사와의 의사소통과 비정밀접근과 관련된 지식 및 기량 부족을 사고요인으로 볼 수 있다.
- 또한 비행단계별 분석의 결과 고도로 자동화된 항공기의 조종사 업무부하가 단계에 따라 적절히 안배되지 못하였다는 사실을 알게 되었다. 즉, 이전 세대의 항공기와 비교하여 오히려 이륙 및 상승단계와 접근 및 착륙단계에 발생한 사고의 비율이 높아졌다는 사실은 역시 조종사 업무부하의 비행단계별 조정이 설계과정에서 만족스럽게 이루어지지 않았음을 보여준다.

4. 2 대책

- **조종사의 상황인지 부족에 대한 대책**
조종사의 상황인지 부족에 대한 대책은 항공기의 설계와 조종사의 선발과 훈련, 운항절차의 수립 등의 과정에서 대안이 제시되어야 한다.
 - 시스템의 직접적 운영자인 조종사는 상황인지의 중요함을 이해하여야 한다. 특히, 자동비행 시스템과 관련시켜 항공기의 자세나 모드를 인지하고, 비행경로와 연관하여 지상장애물이나 다른 항공기와의 간격, Vortex나 모호한 자동비행시스템의 고장 및 순항중의 엔진고장 등에 의한 비정상자세 진입시 항공기의 위험상황을 즉각 인지할 수 있는 능력을 유지하여야 한다.
 - 조종사의 최초교육이나 재교육 프로그램에 자동비행의 모드나 항공기 상태의 인지가 얼마나 중요한 문제인가를 인식할 수 있도록 관련내용을 교육하여야 한다. 또한 항공기 제작사, 항공사의 자동비행에 대한 원리를 충분히 이해하도록 하기 위하여 어떤 특정기능을 자동화한 이유와 높은 단계의 원리에서부터 낮은 단계의 원리에 이르기까지 전반적인 자동화 원리를 교육하여야 한다.
 - 항공기의 자동화 시스템 설계과정에서 외부지형의 인지가 효과적이고 용이하게 이루어질 수 있는 새로운 기술개념을 개발하여야 한다. 최근 증가되는 CFIT사고는 이러한 외부지형의 인지가 고도로 자동화된 항공기의 조종석 내에서 커다란 문제로 대두되고 있음을 시사하고 있다.
 - 항공기의 설계과정이나 형식승인 과정에서 자동화 시스템의 운영에 영향을 주는 시스템, 장비, 명칭 등을 표준화할 필요가 있다. 비표준화된 시스템은 조종사의 인지능력에 악영향을 줄 수 있는 요인으로 작용하고 기종전환시 조종사들은 부담을

느끼게 된다. 따라서 이러한 표준화의 필요성에 입각하여 자동화 시스템의 설계에 대한 표준화를 명문화하여 법적 제한을 받게 하는 방안이 강구되어야 할 것이다.

□ 조종사의 자동화에 대한 관리, 감독능력의 미비에 대한 대책

- 제작사나 항공사의 자동화 원리에는 다음과 같은 정보를 제공하여야 하며 조종사는 이를 숙지하여야 한다.
 - 제작사의 자동화시스템 설계의 높은 차원의 원리(특정기능을 자동화한 이유등)
 - 항공사의 운항방침(Policies), 절차(Procedure), 실행(Practice) 등의 기본이 되는 항공사의 자동화 원리
 - 설계시 사용된 가정(Assumptions)과 같은 운영원리
 - 특정 성능이나 제한사항을 비롯하여 Envelope Protection 기능이 가능하거나 불가능한 상황이나 비행상태에 대한 자세한 설명
 - 적절한 자동화의 수준을 결정하는데 있어서 참고가 될 수 있는 참고자료
- 사용지침서나 최초/재교육 프로그램에 다음과 같은 내용을 포함하여야 한다.
 - 자동비행장치를 반드시 사용해야 하는, 혹은 사용하지 말아야 하는 상황에 대한 설명
 - 자동비행장치 또는 Autothrottle을 작동해야 하는 상황, 혹은 작동하지 않아야 하는 상황, 또는 다른 모드로 반드시 전환해야 하는 상황에 대한 자세한 설명
 - 비행경로 조정 등을 자동과 수동으로 혼용할 경우 적절한 사용방법.
- 조종사가 정해진 절차를 위반하였을 때, 그 위반의 원인을 분석하여 절차상의 보완이나 설계상의 조연등 환류가 가능하도록 하여야 한다. 특히 조종사가 절차를 위반함으로써 사고를 모면한 경우에는 그 원인을 다각적으로 분석하여야 한다. 조종사가 절차를 위반한 원인이 절차 수행이 기술적으로 너무 어렵거나, 상황과 부합되지 않거나, 적용상 애매한 점이 있는 경우 반드시 절차에 대한 재검토가 이루어져야 한다.

□ 조종사- 관제사 의사소통 개선책

- 운송용항공기의 조종석 자동화의 급격한 발달에 비교하여 볼 때 항공관제시스템의 진보는 비교적 낙후되었다고 볼 수 있다. 조종사는 조종석내의 자동화 시스템과의 인터페이스를 통하여 다량의 정보를 교환하고 관제사는 관제시스템과 상호작용 및 인터페이스를 통하여 관제업무를 수행한다. 우리나라의 경우 해마다 관제량이 증가하는 경향을 보이고 있으며 이러한 증가 추세는 당분간 계속될 전망이다. 따라서 관제사의 업무량은 계속 증가될 것이며 증가된 업무부하의 상태에서 관제사의 인적요인에 의한 사고요인은 증가될 것이며 항공기와 관제기관의 서로 다른 자동화 시스템 운영에 따른 의사소통의 어려움을 예상할 수 있다. 특히 조종사들은 고도로 자동화된 항공기의 자동화 특성에 대하여 관제사들의 이해가 부족하다

고 인식하고 있으며 관제사들은 조종사의 의사소통에 개선할 부분이 많다고 지적하고 있다¹⁰⁾. 따라서 현용 항공관제절차와 고도로 자동화된 항공기의 운항방법에 대하여 의견을 교환하고 연구를 수행할 수 있는 기회를 제공하여야 한다.

- 항공산업을 구성하고 있는 연구기관, 항공사, 정부기관 등은 각자가 보유하고 있는 유용한 정보를 서로 교환하여 공동대책을 강구할 수 있는 데이터베이스를 구축하여 활용할 수 있도록 하여야 한다.

□ 훈련 및 평가방법의 개선책

- 조종사 상황인지, 자동화 관리 및 감독에 대한 대책에서 언급한 내용을 비롯하여 고도로 자동화된 항공기 시스템의 관리 감독에 필요한 다양한 분야를 포함하는 훈련 과정의 재편성이 필요하다.
- 조종사의 비행평가를 합격여부의 판단을 내리기 위한 도구로 사용하기보다는 평소 자주 사용하지 않는 자동화 시스템의 기능이나 비정상 상황에서 조종사의 자동화 시스템 이용 능력을 증진시키거나 새로운 기술, 개념의 교육 기회로 활용해야 한다. 국내 항공기 사고조사결과 자동화된 조종석시스템에 익숙한 조종사가 평소 자주 사용하지 않는 비정밀 접근절차를 수행하는 과정에서 사고발생빈도가 높아 이에 대한 교육과 훈련의 강화가 필요하다.

5. 결 론

안전성과 신뢰성, 경제성의 향상과 조종사의 업무부하를 줄여 주기 위한 조종석 자동화시스템의 도입은 경제성의 괄목할 만한 발전과 비교할 때 안전성, 조종사의 업무부하 감소라는 목적의 달성에는 많은 문제점을 갖고 있으며 궁극적인 목표인 무사고를 이룩하기 위해서는 이러한 문제점에 대한 지속적인 연구와 개선이 시급히 이루어져야 한다.

본 논문에서 수행한 문헌조사와 사례분석 결과 진보된 항공기의 사고를 유발한 요인중 인적요인에 의한 사고가 비교적 높은 비율로 나타났으며 이들 인적요인은 조종석 자동화 시스템과 조종사의 인터페이스상의 문제점으로 인하여 발생하는 '조종사인 지'의 부적절에 의한 경우가 가장 높은 빈도를 나타내었다.

또한 비행단계별 분석의 결과 이륙, 착륙접근 단계에서의 사고발생 비율이 기존항공기에 비하여 오히려 증가되어 자동화의 목적중 하나인 조종사 업무부하의 감소가 조종사의 업무부하가 높고, 많은 의사결정이 필요한 단계에서는 적절히 이루어지지 않고 있음이 밝혀졌다. 즉, 특정형태의 오류는 줄었으나 다른 형태의 오류가 발생하여 전체적인 오류의 감소는 이루어지지 않았음을 알 수 있다. 이는 조종석 자동화 시스템의 설계과정에서 시스템의 직접적인 운영자인 조종사의 임무수행에 알맞은 인간중심적인

10) 고시영, '항공안전과 관제사의 Human Factors', 건교부 항공국, 1996

설계가 이루어지지 않았기 때문이다. 따라서 조종석의 자동화 시스템의 설계과정에 있어서 Human Factor 전문가의 참여가 좀더 강화되고 기종별 자동화 시스템의 표준화가 가능하도록 관련 법률의 제정도 요구된다고 할 수 있다.


의사소통에 관한 문제점중 관제사의 첨단항공기에 대한 이해가 부족하여 발생하는 부적절한 유도나 지시는 치명적인 사고 유발요소로 작용될 수 있다. 따라서 변화하는 운항환경에 능동적으로 대비하기 위하여 관제사의 항공기 자동화 시스템에 대한 교육이 지속되어야 한다.

이전의 비행안전, 사고조사에 대한 연구의 대책이 주로 조종사의 훈련이나 조종사에 대한 관리와 감독에 관심이 집중되었던 것에 비교하여 본 연구의 결과 조종석 자동화의 문제점은 항공운송이라는 산업구조시스템의 구성요소들의 일치된 노력에 의해서만 해결될 수 있다는 결론을 얻게 되었다. 조종석 자동화 시스템의 비행안전 저해요인을 제거하려는 노력은 항공운항이라는 산업구조를 구성하고 있는 각각의 구성원의 노력도 필요하지만 시스템적인 접근방식이 요구된다. 즉, 인적요인에 의한 사고, 항공기 결함에 의한 사고 등으로 개별적으로 분류하여 각각의 대책을 강구하는 것보다 시스템 전반적인 공동해결책을 모색하도록 하여야 한다.

참고문헌

- [1] 교통안전진흥공단, '조종사를 위한 인적요인 자가관리', 교통안전지도서, 1994
- [2] 교통안전진흥공단, '항공기 사고방지 대책과 항공기 사고사례', pp 1-3, 1994
- [3] 고시영, '항공안전과 관제사의 Human Factors', 건교부 항공국, 1996
- [4] 이우종, '21C를 대비한 정부의 항공안전 정책방안', '99 항공안전세미나, 1999. 8
- [5] Boeing Group, Statistical Summary of Commercial Jet Aircraft Accidents, 1998. 6
- [6] Cardosi, kim M., 'Human Factors for Flight Deck Certification Personnel, DOT/FAA/RD-93/5 Technical Report 4547, pp 211~212, 1993
- [7] Earl L. Wiener, 'Human Factors in Aviation' Academic Press Inc., pp 263~301, 433~451, 1988
- [8] Earl L. Wiener, 'Crew Coordination and Training in the Advanced-Technology Cockpit', Academic Press, Inc., pp 199~204, 1993
- [9] FAA Human Factor 팀, 'The Interfaces Between Flight Crews and Modern Flight Deck Systems', FAA, pp 1~13, 1996
- [10] ICAO, 'ICAO Circular, Human Factors Digest No.5', ICAO, pp 3~5, 11~19, 1992
- [11] ICAO, 'ICAO Circular, Human Factors Digest No.6', ICAO, pp 6~7, 1992

저자소개

- 한경근 : 항공대학교 항공운항학과 졸업
현 한국항공대학교 비행교육원 재직
항공운항학회 편집위원
 명지대 대학원 박사과정 인간공학전공
관심분야 : 항공계기, 인간기계 시스템 인터페이스
- 이병기 : 서울대학교 전자공학 학사
서울대학교 전자공학 석사
美 Michigan대학 컴퓨터공학 석사
美 Michigan대학 산업공학 박사
현 명지대학교 산업공학과 교수재직
주요경력 : 美 Michigan대학교 연구원
관심분야 : 컴퓨터응용, CAD/CAM, 품질공학