

## 論文

## 항공교통관제사와 조종사 인적오류의 연계성

문우춘\*, 최연철\*\*, 양한모\*\*\*

## Association of Human Error on Air Traffic Controller and Pilot

Woo-Choon Moon\* , Youn-Chul Choi\*\*, Han-Mo Yang\*\*\*

## ABSTRACT

There are many studies indicate that human is one of the major contributing factors to the aviation accident. To this end, the Human Factor of pilots and in flight operations has been a popular subject to be studied, however, not of the air traffic controllers. Recently, some States have started studying Human Errors in Air Traffic Control field, removal of the potential errors in advance and prevention of the similar errors. This study analyzed Human Errors in air traffic control in terms of LOSA of airlines, which has been actively studied. This study will contribute to safe Flight Operation and Air Traffic Control.

**Keywords** : Air Traffic Control(항공교통관제), Flight Operation(항공운항), Human Factors(인적요인), Human Errors(인적오류), LOSA(Line Operation Safety Audit)

## 1. 서 론

항공기와 항공교통관제의 장비나 기술이 급속도로 발전되고는 있지만 멀지 않은 장래에 항공교통량이 현행 ATC시스템의 용량을 초과할 것으로 전망되고 있다. 이에 대해 국제민간항공기구를 비롯한 항공교통 관련기구에서는 공역을 조밀하게 이용하는 방법을 통하여 이에 대응하고 있으나 세분화에 따른 상호협조와 연락업무 증가가 문제로 등장하고 있다.

이렇게 복잡해지는 항공교통조건에서도 질 높은 관제업무를 제공하기 위하여 문제해결이나 의사결정과 같은 인간의 인식작업에 자동화를 활용하거나 관제사에게 원활한 자료를 제공하기 위한 장비 활용 등을 통하여 항공교통의 흐름을 조정하는 전략으로 대응해 가고 있다.

1950년대 이후 세계적인 항공기 제작 및 정비 기술의 발전으로 항공사고율이 급격히 감소되었으나 1977년부터 사고율 감소추세가 둔화되었고 '80년대 이후부터는 더욱 둔화되었다. 국제민간항공기구에서는 이러한 사고감소율의 둔화와 항공교통량의 급증에 따라 전통적 사고예방활동에 대한 한계를 인식하고 새로운 안전관리기법을 연구하였으며 '97.4월에 항행위원회는 세계적 항공안전을 위해 "Global Aviation Safety Plan" 개념을 제안하였고 제32차('98년) 및 제33차('01년) 총회에서 최종적으로 승인되었다. 이에 따라 '01.3월 제40차 부속서11 수정판이 발간되어 각 체약국은 ATS 안전관리프로그램에 의해 안전수준 및 목표를 '03.11.27까지 수립·시행토록 하였고, '06년3월 제44차 부속서11 수정판을 발간하여 ATS 안전프로그램 및 안전관리시스템(SMS)을 '06년11월까지 수립·이행토록 의무화 하였다.

그러나 항공교통관제분야의 경우 관제업무가 항공운항업무에서 큰 비중을 차지함에도 불구하고 오늘날과 같은 최첨단 시대에도 항공관제는 많은 부분을 관제사 개인의 의사결정 과정에 의존하고 있다. 이는 급변하는 항공교통의 추세로

† 2008년11월24일 접수 ~ 2008년12월24일 심사완료

\* 항공안전본부

\*\* 항공대학교 한서대학교 항공학부

연락처: pilot@hanseo.ac.kr

충남 서산시 해미면 대곡리

\*\*\* 한국항공대학교 항공교통물류학부

불 때 항공안전에 큰 문제점으로 대두되고 있다. 이러한 점을 감안하여 최근 미국을 비롯한 일부 국가에서는 항공관제오류의 형태를 발굴하여 잠재된 위험요인을 사전에 제거하고 유사사례 예방하기 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

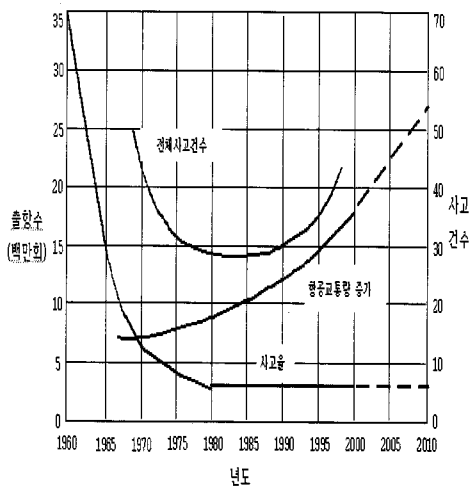
본 연구는 이와 같은 항공교통관제에서의 인적오류에 대한 문제점과 관심의 대상이 되는 부분들을 고찰하고자 한다. 이를 통하여 항공교통관제 부분의 안전관리와 인적오류 감소를 위한 요소들을 확인하여 항공운항과 관제의 안전에 기여하고자 한다.

## II. 본 론

### 2-1. 항공관제 관련 인적오류 연구고찰

최근까지의 세계적으로 발생한 항공사고의 추세를 보면 사고 건수는 감소하고 있으나 항공운송량이 해마다 증가하고 있어 전체적인 사고 건수는 오히려 증가하는 것으로 조사되고 있으며 향후 2010년에는 전체 사고 건수가 현재보다 2배 이상 증가할 것으로 예상된다.

Fig 1. 교통량 증가, 사고율, 사고 건수



자료원: 차기수, 인적 요인에 대한 새로운 인식과 철학

항공사고가 직·간접적으로 인적요인(Human Factors)에 의해 발생하고 있는 것으로 밝혀지면서 다양한 연구가 진행되고 있지만 대부분이 조종과 운항측면에서 활발한 반면, 항공교통관제사

에 대한 인적요인에 대한 연구가 미미하다. 현재까지 진행된 항공교통관제분야 인적요인에 관한 국내·외 선행연구는 Table 1.과 같다.

Table 1. 인적요인에 관한 선행연구

연구자	주요 내용
최연철(2003)	항공운항에서의 조종사와 관제사 관계
이강현(2003)	관제사의 직무만족에 관한 실증 연구
강경범(2003)	항공교통관제사의 지식공유 연구
신경(2003)	관제사의 직무스트레스와 조직유효성
홍창훈(2005)	항공교통관제사 정신적 업무부하요인
이창성(2006)	관제사의 리더십과 직무만족, 조직몰입
박현일(2007)	관제사 교대근무와 피로와의 상관관계
정윤주(2008)	조정관제사와 레이더관제사의 업무부하
O'Connor, W.F. (1965)	ATC System Errors and Controller Proficiency
Christopher D (1997)	Human Factors in Air Traffic Control
Rodgers, M.D. (2000)	Post-hoc analysis of situation awareness in ATC incidents and aircraft accidents
Breedlove, R(2003)	Creating the cognitive advantage for high performance ATC professionals

자료원: 연구자에 의해 재정리

1994년 미국연방교통안전위원회(NTSB)가 항공 사고 발생원인의 60% 이상이 인적오류(Human Error)라는 조사결과를 내놓은 이후 인적오류는 항공분야에서 일반적으로 사용하는 개념으로 정착되었다. (박수애 2004) 이와 같이 인적요소를 항공안전에서 가장 중요하게 여기는 궁극적인 이유는 업무수행에서 인간의 기능 및 역할과 주변의 모든 요소간의 관계를 최적화(Optimization)하여 업무의 능률성과 효율성 및 안전성을 도모하는데 있으나 인지와 관련한 대상과 영역은 매우 복잡·다양하고, 범위가 광범위하여 이를 한정하여 구체화하기가 어렵기 때문이다.(최연철, 2005) 그러나 다양한 차원에서 연구가 진행된 조종업무의 경우는 인적오류에 대한 부분들이 일부

규명되고 있으나 항공교통관제와 같이 연구가 미약한 분야는 해당 분야의 인적오류의 개념이나 종류 및 통계에 대한 자료가 빈약하여 구체적인 내용을 제시하기 어려운 형편이다. 따라서 현재 항공교통관제 분야의 인적요인과 관련된 부분은 Table 2와 같이 국제민간항공기구에서 제시하는 인적요소를 준용하여 연구가 진행되고 있다.

Table 2. 인적요인의 구성

구분	항공생리 (Physiology)	항공심리 (Psychology)	적성(Fitness for Duty)	대인관계 (Interpersonal Relations)
내용	-호흡* -기압영향* -감각한계* -가속영향* -착각 -피로, 긴장 -수면장애부족 -생체리듬 -시차*	-인간실수 -업무 부하 -정보처리 -태도, 판단 -상황인식 -의사결정 -스트레스 -기량/경륜 -속련도	-건강 -음주, 약물 -연령 -후천적 요소와 업무 -적성심리 -스트레스 -임신	-의사소통 -정보전달 -안전효율성 -문제해결방법 -소집단 활동 -자원관리기법
구분	장비요소	소프트웨어	운항환경	인간과 주변요소와의 상호관계에서 발생하는 요소
내용	-구조, 배치 -경계경보체계 -안락성	-표준절차 -항공지도 자료, S/W -자동화	-내적물리적 -외적물리적 -사회경제적	

ICAO, 인적요소 Digest No.3 p11-p15

### 2.2 항공교통관제업무와 인적요인

항공교통관제사는 대부분 피로와 긴장이 가중 시키기 쉬운 환경에서 근무를 한다. 국제공항의 경우 24시간 근무체제이므로 일일 8시간의 정해진 근무와 주·야간의 순환근무체제가 반복된다. 많은 연구에서 나타나듯이 주야간 전환 근무는 신체의 피로도를 가중시키고 이는 판단력이나 인간의 인지구조에 영향을 준다. 항공교통관제에 있어서 나이가 들수록 능력이 감소하는 것이 보편적이므로 이에 맞는 직무 재배치가 바람직하다고 볼 수도 있다. 또한, 피로할 경우 불안전 상황이 악화되고 있는 것도 감지하지 못하고 지나칠 수 있고, 조종사의 잘못된 readback 같은 결정적인 정보의 오류도 놓치게 된다.

연구에 의하면 ATC 실수 발생요인으로 크게 다음의 3가지 요인을 들고 있다. (FAA, 2003)

- 교통량이 비교적 적은 상황
- 관제석에 앉은 지 15분 이내
- 관제경력 6년 미만의 관제사

또한, ATC 사고나 준사고의 50% 이상이 부주의(unattention), 건망증(forgetfulness), 경계소홀(lack of vigilance)로 발생하고 있는데, 이를 포함하여 주의산만(distraction)이 경계에 큰 영향을 주는 것으로 조사된다. 상황인식은 항공안전 분야에서 매우 중요한 부분이며 관제사에게는 더욱 중요한 요소이다. 상황인식은 주의 및 경계를 통하여 환경의 변화를 인지하고 대처하는 것을 말하는데 개인의 상황인식에 영향을 미치는 대표적인 상황인식 요인은 다음과 같이 연구되고 있다.

- 업무량 (Workload)
- 자만심 (Complacency)
- 방해요소 (Distractions and Interruptions)
- 피로 (Fatigue)

위에 제시한 부분은 흔히 관제사들이 접하는 요인들이므로 특히 항공관제분야의 상황인식에 대한 연구가 매우 중요하다고 판단된다.

한편 항공관제에서의 오류 가운데 특이한 부분은 근무교대에서의 많은 오류가 책임을 이양할 때 발생한다. 미국 FAA 분석에 의하면 인적오류의 대부분이 관제사가 근무좌석을 인수한지 10분 이내에 종종 발생하는 것으로 나타났다. 1997년부터 2000년 사이에 발생한 1,056건 중 근무좌석에서 처음 5분 이내에서는 약 9%, 처음 10분 이내에서는 18%, 처음 20분 이내에서는 35%가 발생하였다. (FAA, 2003)

따라서 항공교통관제에서의 인적오류는 다른 항공분야의 종사자들의 인적오류와 일맥상통하는 점들도 많으나 일부는 이와는 다른 차원에서의 연구가 요구된다고 볼 수 있다.

### 2.3. 관제사, 조종사가 연관된 인적오류

오류는 조직이나 개인의의도와 예상으로부터 이탈된 상황에 이르도록 하는 행동으로 종종 원하지 않는 상황(Undesired States)<sup>1)</sup>으로 연결된다.

오류는 무의식적으로 발생하여 위협(threat<sup>2)</sup>)

- 1) 의도하지 않은 교통상황이 안전한계를 감소시키는 결과를 초래하는 운영상황을 말함
- 2) 해당 종사자의 역량 밖에서 일어나는 것으로 안전한계를 유지하기 위해서는 관심과 관리가 필요한 이벤트 또는 오류를 말함

또는 오류사슬의 부분으로 연결될 수 있다. 다음과 같은 예가 있다. 조종사의 복명복창오류를 발견하지 못함, 이미 사용되고 있는 활주로에 대하여 항공기 또는 차량 허가, 자동화시스템의 부적절한 기능선택, 자료입력오류 등이 있다.

관제사 오류는 관제사의 의도에서 벗어난 것(이탈)으로 정의 할 수 있다. 오류는 사소한 이탈부터, 타 관제사와 협조를 하지 않는 등의 심각한 이탈까지 다양하다. 원인이나 심각성도 문제이지만 오류에서의 중요한 문제는 불안전결과(unsafe outcome)로 연결되기 이전에 발견/관리되었는지의 여부에 좌우된다.

2004년 Boeing사의 민간항공기사고 통계자료에 따르면 사고는 이륙/순항상승, 그리고 최종접근/착륙 단계에서 약 68% 정도가 발생하는 것으로 나타났으며 사고원인이 밝혀진 136건의 사고 중 공항/ATC가 주된 원인으로 발생된 사고는 전체 사고의 4%를 차지하고 있다. (Boeing,2007) 이에 따라 항공사의 운항안전을 위하여 ICAO나 IATA 및 FAA 등에서는 다음과 같은 다양한 형태를 활용하고 있다.

- 1) 국가별 항공법에 근거한 조종사 능력평가
- 2) 준사고보고제도
- 3) FMAQ<sup>3)</sup> 4) FOQA<sup>4)</sup>
- 5) LOSA(Line Operational Safety Audit)

이 가운데 LOSA는 운항항공기에 탑승하여 관찰하여 수집된 정보를 분석하고 운항안전을 위협하는 인적요인 및 제도적 잠재요인을 개선할 수 있는 것으로 관찰된 행동이나 결과에 대한 면책이 보장(Non-Jeopardy)된다는 개념 하에서 진행된다. 2005년 9월 LOSA에 의하면 23개 항공사의 4,800회의 비행을 분석한 결과 위협이 17,500건, 오류(errors) 12,500건, 원치않는 상황(Undesired Aircraft States)은 2,400건으로 관찰되었다. (Ashieigh Merritt, 2005) 또한, 10개 항공사를 대상으로 시행한 LOSA 분석자료에 의하며 2,426회 비행에서 안전한계의 유지관리가 필요한 위협상황이 9,450건을 발견되었다.

이중 항공교통관제와 관련하여 전체의 1/4인 2,350건의 위협이 있었는데 이는 1회 비행당 1건에 해당하는 것이며 이 가운데 잘못된 항공교통관제업무 수행은 약 10%인 236회가 발생되었다.

이를 세부적으로 살펴보면 Fig 2.와 같이

Challenging clearances이 53%이고 활주로 변경 14%, 언어문제가 8%, ATC오류가 7%, 유사 호출 부호 5% 순으로 발생하고 있다.

Fig 2. 항공교통관제업무관련 위협상황

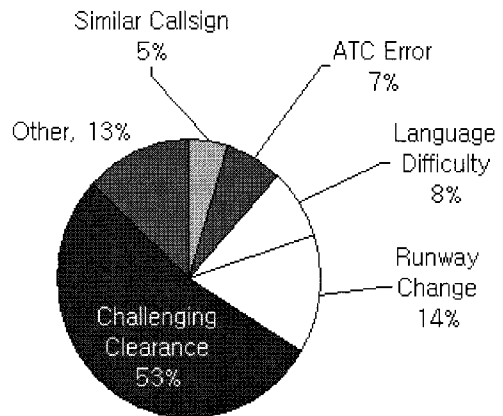


Fig 2.의 ATC 위협 상황으로 인하여 Table 3.과 같이 280건의 조종사 오류가 발생하였으며 이 가운데 오류가 원치않는 상황(UAS)로 이어지는 경우는 106건이었다.

Table 3. ATC 위협 관련 조종사 오류

오류	분포	UAS 분포
잘못된 ATC 지시 이해로 인한 교신오류	27%(76)	2%(2)
의도되지 않은 속도, 수평, 수직오류 등 항공기 조종	24%(67)	55%(58)
장비입력 오류	20%(56)	20%(21)
상호 확인 오류	7%(19)	5%(5)
지상항법시설(navigation)오류	6%(16)	8%(9)
기 타	16%(46)	10%(11)
합 계	100%(280)	100%(106)

UAS 유형별로는 의도되지 않은 속도, 수평, 수직오류 등 항공기 조종 55%, 장비입력 오류 20%, 지상항법시설 오류 8% 순으로 발생하고 있는데, 특이한 사항은 조종사 오류 중에서 50% 이상을 차지하는 2가지 오류, ①잘못된 ATC 지시 이해로 인한 교신오류, ②의도되지 않은 속도,

3) Flight Management Attitude Qusetionnaire

4) Flight Operations Quality Assurance

수평, 수직오류 등 항공기 조종 중에서 UAS로 연결되는 유형은 ②번 상황이 대부분이며 ①의 유형은 드물게 나타났다. 이는 교신업무의 특성상 조종사와 관제사가 상호 관계를 통해 어느 한 쪽이 오류를 일으키더라도 다른 한쪽이 이를 교정할 수 있기 때문이다.

또한, 원치 않은 상황의 3/4이 강하/접근/착륙단계에서 발생하는 것으로 분석되었으며 원치 않은 상황의 유형은 Table 4.와 같다.

Table 4. 원치않은 상황(UAS) 유형

유형	분포
수평이탈(Lateral deviation)	17%
과속(Speed too high)	14%
수직이탈(Vertical deviation)	10%
불안정한 접근(Unstable Approach)	10%
계속되는 착륙(Continued Landing)	9%
자동방식오류(Incorrect Automation)	9%
유도로/활주로침범(Incursion)	6%
저속(Speed too low)	6%
비행기배치문제(Incorrect configuration)	5%
기타	14%

FAA에 의하면 2000년에 166,669,557편의 항공교통을 처리하였는데, 운항회수와 오류의 관계를 %로 계산하면 매100,000건당 실무오류가 '99년에 0.60에서 '00년 0.69, '01년에 0.74로 증가하였다. 이에 따라 실무오류발생을 이해 및 예방차원으로 사건보고시스템(Incident Reporting System)에 의해 관련된 요인들을 포착하도록 개선하고 있다.(FAA, 2003) 그럼에도 불구하고 관제사와 조종사간의 인적오류에 의한 사고가 끊임없이 발생되고 있으며, 대형항공사고로 이어지기도 한다. 1977년 3월 Tenerife공항의 무선교신 관련사고에 대해 전문가들은 이러한 문제가 상당부분 예방가능하다고 분석하고 있다(Verhaegen, 2001).

2002년 7월 독일 베링겐(Ueberlingen)상공에서 발생한 Tupolev 154와 Boeing757 항공기의 공중충돌 사고에서 보듯 항공교통관제의 대표적인 위협 중 하나가 공중충돌경고장치(ACAS) 경고로 인한 회피기동이다. Table 5.는 주요국가의 2007년도 "ACAS RA" 발생건수를 보여주고 있다. (항공안전본부,2007)

Table 5. 주요국가의 ACAS RA 발생현황('07년)

구분	ACAS RA 발생건수	항공교통량	10만교통량당 발생률
미국 <sup>5)</sup>	92	46,748,000	0.20
캐나다 <sup>6)</sup>	148	4,014,106	3.69
영국 <sup>7)</sup>	27	2,470,940	1.09
한국	10	452,177	2.21

공중충돌경고장치(ACAS) 경고는 회피기동을 통하여 충돌사고를 방지하는 유용한 장치이지만 경고지수가 높다는 것은 잠재적인 사고위험성을 내포한다는 것과도 맥락을 같이한다. 이를 유발하는 요인의 대부분이 조종사와 관제사의 인적오류라는 측면에서 보면 향후 항공안전을 위한 연구는 현행의 일방적인 조종사 위주의 안전활동에서 관제사를 포함하는 양방향의 항공안전으로 접근하여야 할 것이다. 따라서 관제사의 인적오류에 대한 세심한 연구와 인적오류를 감소하기 위한 대책이 강구되어야 국제민간항공기구는 물론, 항공사와 여객들이 원하는 항공기 사고율의 감소가 이루어 질 것이다.

### III. 결론

항공교통관제는 공중과 지상의 항공기를 비행순서를 계획하고 경로, 속도 및 순서를 통제·조정하는 것이 주업무이지만 이보다 더 중요한 부분은 공중이나 지상에서의 항공기와 항공기간, 항공기와 장애물간의 충돌을 방지하고 항공교통의 질서정연하고 안전하게 흐름을 촉진하기 위한 해법을 제시하는 것이 궁극적인 목표라고 할 수 있다. 현대의 항공교통관제는 고도의 첨단 장비들이 운용된다. 그럼에도 불구하고 ATC는 많은 부분이 관제사 개개인의 의사결정과정에 의존하고 있으므로 관제사의 인적오류가 발생될 많은 개연성을 내포하고 있으며, 이는 LOSA를 포함한 많은 안전관련 분석과 연구에서 입증되고 있다.

본 연구는 항공교통관제사의 인적오류로 야기되는 ATC 위협관련 상황에 대한 LOSA 자료의 분석을 통하여 항공교통에서 핵심적인 기능과 역

5) www.asias.faa.gov

6) www.tc.gc.ca

7) www.airproxboard.org.uk

할 수 수행하는 항공교통관제사와 조종사의 원치 않는 상황유형들을 중심으로 자료를 조사하였다.

LOSA자료에서 9,450건의 위협 상황 가운데 전체의 1/4인 2,350건이 관제와 관련이 있는 것으로 조사되었으며 Challenging clearances는 53%라는 높은 분포를 보이고 있었다. 이러한 부분은 세부연구를 통하여 요인을 발굴하고 모의훈련을 통해 오류를 감소시킬 수 있는 방안이 강구해야 하며 언어문제도 현재 진행되고 있는 항공관제사의 영어능력평가와 병행하여 흔히 범하는 과오에 대한 세부적 분석이 요구된다. 또한, 항공교통관제사의 오류는 조종사의 오류와 높은 상관관계가 있으므로 UAS 유형인 의도되지 않은 속도, 수평, 수직오류 등 조종사의 실제 조종 패턴에 대한 분석이 요구된다. 원치 않는 상황이 주로 발생하는 강하/접근/착륙단계에서 발생하는 오류와 주요 원인에 관하여 시뮬레이터를 활용한 모의실험과 설문조사를 병행한 분석이 요구된다.

연구결과를 종합하면 향후 항공안전에 대한 연구는 조종사와 관제사의 오류를 종합하여 분석하는 것이 중요하며, 이와 관련된 내용에 대한 조종사 교육은 물론이고 관제사 교육에서 실제 나타난 인적오류 상황에 대한 실험을 통한 분석이 요구된다.

본 연구의 향후 연구과제로는 실제로 발생된 오류사례를 바탕으로 관련 시나리오를 작성하고 이를 기초로 한 모의실험과 평가를 통해 오류의 유형과 주요 요인 간에 상호관계를 규명하고 이들에 대한 연계성 및 대응과 관련된 연구를 추진함으로써 항공운항과 관제에서의 사고율을 격감시켜야 할 것이다.

## 참고문헌

- [1] 강경범, 2003, 항공교통관제사의 지식공유에 관한 연구
- [2] 김철영, 최연철외 2, 2005, 항공안전관리론
- [3] 박수애, 2004, 인적요인 중심의 사고분석 System 개발에 관한 연구
- [4] 박현일, 2007, 항공교통관제사의 교대근무와 피로와의 상관관계에 관한 연구
- [5] 신경, 2003, 항공교통관제사의 직무스트레스가 조직유효성에 미치는 영향에 관한 연구
- [6] 이강현, 2003, 항공교통관제사의 직무만족에 관한 실증적 연구
- [7] 이창성, 2006, 항공교통관제사의 리더십 유형과 직무만족 및 조직몰입과의 관계
- [8] 정윤주, 2008, 조정관제사 요인에 의한 레이더관제사의 업무부하
- [9] 최연철, 2003, 항공운항업무에서의 상호의존성, 상호신뢰, 협력, 성과의 관계에 관한 연구
- [10] 홍창훈, 2005, 항공교통관제사 정신적 업무부하의 영향요인에 관한 연구
- [11] Ashleigh Merritt, 2005, The LOSA Archive
- [12] Breedlove, R., 2003, Creating the cognitive advantage for high performance ATC professionals
- [13] Christopher D., 1997, Human Factors in Air Traffic Control
- [14] Clinton Eames-Brown, 2007, Regional Airline Line Operation Safety Audit
- [15] FAA, 2003, FAA Strategies for Reducing Operational Error Causal Factors
- [16] O'Connor, W.F., & Pearson, R.G., 1965, ATC System Errors and Controller Proficiency
- [17] Rodgers, M.D. & Mogford R.H., & Strauch, B., 2000, Post-hoc analysis of situation awareness in ATC incidents and major aircraft accidents
- [18] Verhaegen, 2001, Safety issues related to language use have come under scrutiny FAA Strategies for Reducing Operational Error Causal Factors