

## Original Article

<https://doi.org/10.12985/ksaa.2021.29.2.014>  
ISSN 1225-9705(print) ISSN 2466-1791(online)

## SHERPA기법을 이용한 항공기 착륙상황에서 발생 가능한 인적오류 예측

최재림\*, 한혁재\*\*, 함동한\*\*\*

## Predicting Human Errors in Landing Situations of Aircraft by Using SHERPA

Jae-Rim Choi\*, Hyeok Jae Han\*\*, Dong-Han Ham\*\*\*

### ABSTRACT

This study aims to examine probable human errors when landing an airplane by the use of SHERPA(systematic human error reduction and prediction approach) and propose methods for preventing the predictive human errors. It has been reported that human errors are concerned with a lot of accidents or incidents of an airplane. It is significant to predict presumable human errors, particularly in the operation mode of human-automation interaction, and attempt to reduce the likelihood of predicted human error. By referring to task procedures and interviewing domain experts, we analyzed airplane landing task by using HTA(hierarchical task analysis) method. In total, 6 sub-tasks and 19 operations were identified from the task analysis. SHERPA method was used for predicting probable human error types for each task. As a result, we identified 31 human errors and predicted their occurrence probability and criticality. Based on them, we suggested a set of methods for minimizing the probability of the predicted human errors. From this study, it can be said that SHERPA can be effectively used for predicting probable human error types in the context of human-automation interaction needed for navigating an airplane.

**Key Words** : Human Error(인적오류), Human Reliability(인간신뢰도), SHERPA, Risk Assessment(위험성평가), Task Analysis(직무분석), Cognitive Task Analysis(인지적 직무분석)

### 1. 서 론

항공기 사고의 통계적 분석에 의하면 전 세계적으로 군용 전투기 혹은 민간 항공기를 막론하고 항공기 사고에서 운용자의 인적오류(human error)와 관련된 사

고가 약 70% 이상이며, 대형사고의 경우 수백명의 인명사고를 유발할 수 있다(Oh, 1992). 항공사고 발생률은 항공기의 시스템 생명 전주기(개발, 제작, 관리 및 운용)에 걸쳐 체계적인 안전 관리 시스템을 적용함에 따라 점차 감소되는 추세에 있다. 그러나 항공사고 예방을 위한 다양한 항공안전 활동에 비하여 사고율(accidents per million departures)의 감소 추세는 정체 현상을 보이고 있다(Boeing, 2001).

이러한 관점에서 항공 산업계에서는 항공기 사고로 인한 인명 및 재산상의 손실을 줄이기 위해 사고 발생 이전에 항공운항 과정에서의 위험요소들을 조기에 파악하여 그에 대한 적절한 개선 대책을 수립할 수 있는

Received: 12. Jan. 2021, Accepted: 24. May. 2021

\* 국방기술품질원 연구원

\*\* 광주산학융합원 주임연구원

\*\*\* 전남대학교 산업공학과 교수

연락처자 E-mail : donghan.ham@gmail.com

연락처자 주소 : 광주광역시 북구 용봉로 77

다양한 연구를 요구하고 있다(Lee and Seol, 2010). 특히 항공사고에 연관된 인적오류를 예측하고 선제적으로 대응하기 위한 여러 연구 노력이 요구되고 있다(Jeon, 2013).

인간의 실수와 판단착오가 발생할 경우, 중대한 사고로 이어질 수 있는 상황에서 인적오류를 예측하고 사고를 미연에 방지하기 위한 노력은 매우 중요하다(Shorrock and Kirwan, 2002). 일반적으로 인적오류가 발생하게 되는 이유는 여러 가지가 있다. 인적오류 연구에 의하면 인적오류는 개인적 요인뿐만 아니라, 여러 외부적 요인(직무 절차서의 결함, 부적절한 훈련 및 교육시스템, 부적절한 행동 규율, 의사소통 상의 문제 등)에 의해 영향을 받는다고 할 수 있다(Martinussen and Hunter, 2010).

항공운항처럼 복잡한 작업상황은 대부분 절차적 직무에 의존하고, 이를 지원하기 위해 여러 절차서가 활용되고 있다. 절차서를 기반으로 직무를 수행하는 과정에서 인적오류가 발생할 가능성은 언제나 존재한다(Embrey, 2005; Sharit, 1998). 그런데 항공운항에서 절차로서는 대응할 수 없는 예측 못한 작업상황이 존재할 가능성 또한 존재하고, 이러한 예측 못한 상황에서의 인적오류 가능성은 더 높다고 할 수 있다(Ham et al., 2011). 항공기의 이륙 및 착륙 절차에서 조종사는 철저하게 매뉴얼에 기반하여 직무를 수행한다. 또한 항공기의 이착륙 시 조종사가 예측하지 못한 외부적 위협(threat) 또는 내부적 인적오류(error)가 발생할 가능성도 매우 높다.

이러한 문제의식을 갖고 본 연구는 SHERPA(systematic human error reduction and prediction approach)기법을 활용해 항공기 착륙 상황에서의 인적오류를 파악하고, 이에 대한 대응방안을 모색함을 목표로 한다. 구체적으로 착륙상황에서 요구되는 절차적 직무를 계층적 직무분석(HTA: hierarchical task analysis)기법을 이용해 분석하고 단위직무별로 발생 가능한 인적오류를 식별(HEI: human error identification)한다. 이를 바탕으로 착륙상황에서의 인적오류 감소 및 효과적인 대응을 위한 방안을 제안함을 목표로 한다.

## II. 이론적 배경

### 2.1 인적오류 및 인적오류 식별(예측)

인적오류란 사람이 행한 임무 결과가 계획된 것과 다른 것 즉, 인간 능력의 한계로 인하여 부적절하거나 바람직스럽지 못한 인간의 결정이나 행동을 의미한다(Embrey, 2005). 인간의 능력에는 인지적 지각 특성의 한계와 기억 특성의 한계, 주의 집중의 한계, 상황에 대한 판단과 의사결정의 한계가 존재하며, 이러한 인간 능력의 불완전성은 임무 수행 수준을 저감시킨다. 항공운항과 같은 복잡한 직무상황은 언제나 인적오류가 발생할 수 있는 여러 상황적 요소를 내포하고 있다(Martinussen and Hunter, 2010).

하나의 예로 2012년 5월 8일 에어부산 항공기가 김해공항에서 활주로를 착각해 허가받지 않은 활주로로 착륙을 시도하였고, 활주로를 점검하던 차량이 항공기와 충돌 직전 활주로 옆 녹지대로 대피하여 사고를 모면하는 준사고가 발생하였다. 위 사고에서 기장과 부조종사가 선회 접근을 시작한 후 이상 메시지를 나타내던 착륙장치를 내렸을 때 착륙장치가 정상적으로 작동하자 의문이 생겼으며, 이로 인해 기장은 착륙할 때까지 긴장하는 상태였고, 조종 담당이 올바른 활주로를 식별하는 데 주의를 기울이지 않은 결과, 허가받은 활주로인 18R이 아닌 18L에 착륙하였다(<https://youtu.be/NDP0G74d9bw>).

또한 2013년 4월 16일 아시아나 항공기가 인천국제공항에 착륙 중 후방동체가 활주로 지면과 접촉하는 사고가 발생하였다. 조종사가 접지 직전 당김 조작 시점까지 적정 접근 속도를 유지하지 못하였고, 접지 직전 높은 침하율과 증가된 추력 및 속도가 가중되어 접지할 때 정상보다 높은 수직 중력이 작용하여 바운싱(bouncing)<sup>1)</sup>이 일어났다. 바운싱이 일어났을 때 주조종사가 추력을 최소추력(idle)으로 유지하지 못하였고, 피치 자세를 적정하게 조작하지 못하여 A321 기종의 접지 중 피치각<sup>2)</sup> 한계를 초과한 상태로 2차 접지 및 후방동체가 지면에 접촉되었던 것이 원인으로 밝혀졌다.

이처럼 항공 운항은 다양한 인적오류가 언제나 일어날 수 있는 복잡도가 높은 직무상황이며, 항공 운항 과정에서 순간적이고 지속적인 집중력을 요구한다. 모든 작업을 위한 의사결정이 빠른 시간 내에 이루어지는 급박한 운항 상황에서 조종사 및 부조종사의 부적절한

1) Bouncing: 착륙 자세가 부적절하거나 과도한 침하율로 인하여 활주로에 강한 충격으로 접지하여 항공기가 그 충격으로 인하여 공중으로 다시 떠오르는 것.

2) 피치각: 기수가 들리거나 숙여질 때의 각.

행위로 인하여 대형사고로 이어질 수 있는 잠재적 발생 가능성이 존재하기 때문에, 항공기 운항에서 발생할 수 있는 인적오류를 예측하고 감소시킬 수 있는 방안을 제시하는 것은 매우 중요하다.

인적오류 식별(예측)은 인간신뢰도분석(HRA: human reliability analysis)의 중요한 부분으로 관심의 대상이 되는 작업 상황에서 발생 가능한 인적오류를 미리 예측해서 대응방안을 모색하는 과정을 일컫는다(Bell and Holroyd, 2009). 인적오류의 정량화를 제외한 정성적 인간신뢰도분석의 주 내용이 바로 인적오류 예측과 대응방안 모색이라 할 수 있다(Sharit, 2012). 인적오류의 식별을 지원하기 위해 여러 기법이 개발되어 왔다. 대표적인 기법은 SHERPA, HEIST(human error identification in systems tool), TRACEr(technique for the retrospective and predictive analysis of cognitive errors), HET(human error template)를 포함한다(Stanton et al., 2006). Table 1은 이 기법들의 특징 및 장단점을 보여준다. 이 기법들은 사건/사고 발생 후의 원인 탐색이 아닌 인적오류가 발생하기

쉬운 작업/프로세스에서 피해를 예상하고, 이를 방지하기 위한 목적으로 개발되었다(Kirwan, 1994; French et al., 2011).

인적오류 식별 및 예방을 위한 기법은 각각의 장단점이 존재한다. 이 중에서 여러 기준(다양한 도메인 적용 가능성, 사용성 향상을 위한 단계별 사용 절차의 제공, 훈련 및 이해의 용이성, 타당성)을 고려해 여러 기법 중에서 본 연구의 목적(항공기 착륙상황에서의 인적오류 예측)에 적절한 기법을 파악하였다. 그 결과, SHERPA 기법이 본 연구의 목적에 적절할 것으로 판단하였다(Stanton et al., 2006; Kirwan, 1990).

## 2.2 SHERPA

SHERPA기법의 주요 강점은 계층적 직무분석 결과에 기반해 오류 예측에 대한 체계적이고 포괄적인 접근 방법을 제공하고, 잠재적인 오류에 대한 상세한 분석을 제공함에 있다(Embrey, 1986; Harris et al., 2005). 이는 운항 절차와 각 목표를 위한 하위 작업이 비교적 절차적으로 잘 규정되어 있는 항공운항 상황에 상당히

Table 1. Human error identification methods(Stanton et al., 2006)

Method	Domain	Training time	Time to use	Advantages	Disadvantages
SHERPA	Nuclear power, Generic	Low	Medium	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Probably the best HEI method available</li> <li>- Has been extensively used in many domains</li> <li>- Is quick to learn and easy to use</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Can be tedious and time consuming for complex tasks</li> <li>- Extra works may be needed for HTA</li> </ul>
HET	Aviation, Generic	Low	Medium	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Very easy to use, little training</li> <li>- Taxonomy is based on pilot error occurrence</li> <li>- Taxonomy is generic</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Can be tedious and time consuming for complex tasks</li> <li>- Extra works may be needed for HTA</li> </ul>
TRACEr	Generic	Medium	High	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Appears to be very comprehensive for error prediction</li> <li>- Based on sound scientific theory</li> <li>- Can be used predictably and retrospectively</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Appears complex for taxonomic error identification tool</li> <li>- No validation evidence</li> </ul>
HEIST	Nuclear power	Low	Medium	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uses error identifier prompts to aid analysts</li> <li>- Each error question has associated results and design remedies</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- High resource usage</li> <li>- Limited usage</li> </ul>

적합한 형태임을 의미한다. SHERPA는 항공분야에서의 인적오류 예측(Harris et al., 2005)외에 여러 작업 영역에서 널리 활용되어 왔다. 예로 해양 석유 및 가스 탐사·개발(Stanton and Wilson, 2000), 의료서비스 관리(Lane et al., 2006) 및 의료기기 사용(Embrey, 2014), 석유화학플랜트 제어관리(Ghasemi et al., 2013), 원자력발전소 제어실작업(Lee et al., 2011)에서의 인적오류 예측 연구를 들 수 있다. 다른 인적오류 식별 기법과 비교해 SHERPA는 절차적 직무 기반의 상황에서 꽤 실용적이고 예측력 높은 기법으로 알려져 있다(Kirwan, 1990; Harris et al., 2005).

SHERPA는 프로세스 산업에 사용하기 위해 Embrey (1986)에 의해 개발되었다. SHERPA는 계층적 직무 분석(HTA)을 수행하고, 수행 절차를 따라 오류 모드 목록을 사용하여 인간 활동과 관련된 오류와 잠재적 해결책을 식별하는 기법이다. SHERPA는 분석가의 판단에 근거하여 계층적 작업 분석에서 얻은 각 세부직무 단계에서 인적오류 예측을 수행한다. 단계는 기본적으로 6단계로 구성된다(Embrey, 1986; Stanton, 2009).

- 1단계: 분석하고자 하는 대상에 대한 계층적 직무 분석을 실시한다. 계층적 직무분석은 직무의 전반적인 평가대상을 규정하고, 대상 직무에 대한 하위 직무를 기능적인 순서에 따라 단계적으로 분류하여 하위 직무를 평가하는 기법을 말한다(Annett, 2003). 다른 직무분석 기법과 비교하였을 때 계층적 직무 분석의 실질적인 장점은 작업의 세부 수준까지 적절하게 분석할 수 있다는 점이다(Tan et al., 2008). 계층적 직무분석을 위해서는 직무에 대한 정보들을 수집해야 한다. 그리고 수집한 자료를 바탕으로 Fig. 1과 같이 분석 대상의 목적(goal)을 위한 하위직무(sub-task)로 분류하고, 분류된 하위직무를 동일한 단위직무(operation) 수준으로 분해한다.
- 2단계: 분석가는 계층적 직무분석에서 각각의 단위직

무를 다음 5가지 동작 유형[행동: 검사 및 확인: 검색: 의사소통: 선택] 중 하나로 분류한다.

- Action(행동): 기기를 조작하는 데 있어서 발생 가능한 오류
  - Checking(검사 및 확인): 직무를 수행하는 중 확인해야 할 체크리스트나 정보들을 확인하는 데 발생 가능한 오류
  - Retrieval(검색): 디스플레이나 정보 보조물에서 정보를 얻는 경우 발생 가능한 오류
  - Communication(의사소통): 두 명 이상의 사람들이 대화할 때 발생 가능한 오류
  - Selection(선택): 작업에 필요한 여러 대안 중 한 가지를 선택해야 하는 의사결정에서 발생 가능한 오류
- 3단계: 각 단위직무가 5가지 동작 유형으로 분류된 후 다음 Table 2의 오류모드 목록을 이용해 해당 직무에서 발생 가능한 오류 모드를 결정한다. 예를 들어, (정보)검색과 관련한 오류는 세 가지의 오류 모드로 분류됨을 알 수 있다. 그것은 정보가 얻어지지 못했거나(R1), 잘못된 정보를 얻었거나(R2), 얻은 정보가 불완전함(R3)을 포함한다. 오류 모드 결정 후 해당 직무에서 발생 가능한 오류인지 여부를 확인한다.
- 4단계: 각 단위직무에서 발생 가능한 오류에 대한 설명을 제공한다.
- 5단계: 오류로 인해 발생할 수 있는 결과와 오류로부터 복구할 수 있는 향후 직무 단계를 결정한다.
- 6단계: 인적오류의 발생 확률(P: Ordinal Probability)을 Low(거의 발생하지 않음), Medium(한 번 또는 두 번 발생), High(빈번하게 발생)로 분류한다. 그리고 같은 방법으로 오류의 사고 중대성(C: Criticality)을 분류한다. 그리고 각 단위직무의 인적오류를 대상으로 인적오류를 방지하거나 영향력을 감소시키기 위한 개선방안을 제시한다.

### III. 연구방법 및 결과

#### 3.1 자료수집

본 연구에서는 항공기 착륙상황에서의 발생가능한 인적오류 예측을 위해 Airbus 항공기A330-200/300을 중심으로 자료를 수집하고 연구를 진행하였다. Airbus 항공기의 착륙 작업을 분석하기 위해 항공기 수행절차, 조종실 계기판, 항공기 인적오류라는 3가지 주제를 중심으로 자료를 수집하였다. 항공기 도메인 지식을 얻

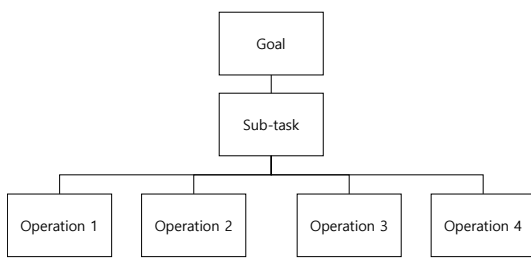


Fig. 1. Typical graphical format of HTA

Table 2. SHERPA error mode checklist (Ghasemi et al., 2013)

Error mode	Code	Error category
Operation too long/short	A1	Action
Operation mistimed	A2	
Operation in wrong direction	A3	
Too little/much operation	A4	
Misalignment	A5	
Right operation on wrong object	A6	
Wrong operation on right object	A7	
Operation omitted	A8	
Operation incomplete	A9	
Wrong operation on wrong object	A10	
Check omitted	C1	Checking
Check incomplete	C2	
Right check on wrong object	C3	
Wrong check on right object	C4	
Check mistimed	C5	
Wrong check on wrong object	C6	
Information not obtained	R1	Retrieval
Wrong information obtained	R2	
Information retrieval incomplete	R3	
Information not communicated	I1	Communication
Wrong information communicated	I2	
Information communication incomplete	I3	
Selection omitted	S1	Selection
Wrong selection made	S2	

기 위해 공통적으로 사용된 책은 항공기 조종 교과서와 항공기 조종학 교재를 활용하였다(Lee, 2020; Cathay Pacific Airways, 2004; Delta Airlines, 2010).

항공기 운항에서 착륙에 관계된 수행절차는 Airbus A330-200/300 기종의 수행 절차서(Cathay Pacific Airways, 2004)와 체크리스트(Delta Airlines, 2010)

를 분석해 정리하였다. 그리고 착륙 상황에 관련된 조종실 계기판을 이해하기 위해 계기판 및 각종 설명이 명시되어 있는 매뉴얼(Hwang, 2011)을 참고하였고, 항공기 실제 운항 상황의 멀티미디어 교육자료를 토대로 실제 조종실에서 어떻게 작업이 이루어지는지에 대해 파악하였다.

그리고 항공기에서 발생 가능한 인적오류에 대한 정보를 얻기 위해 항공 인적요인 관련 교육 자료를 수집하고, 항공철도사고조사 위원회에 2005년부터 2016년까지 보고된 사고 보고서 176개 중 인적오류와 관련된 사고 보고서 86개를 분류하여 수집하였다(예: 2013년 아시아나항공 A321-200 사고)(Jung and Ham, 2019).

### 3.2 HTA 기반 직무분석

Airbus A330-200/300 항공기의 착륙 직무를 HTA 기법을 활용해 계층적으로 분석하였고, 이를 바탕으로 SHERPA기법을 적용하여 발생 가능한 인적오류를 도출하였다.

먼저 수집한 자료를 바탕으로 A330-200/300 항공기의 착륙 상황에 대해서 계층적 직무분석을 실시하였다. 그리고 착륙이라는 목적을 위해 수행되는 Sub-task를 6단계로 구분하였다.

·Sub-task 1.1: 공항 진입 단계는 착륙을 위해 공항으로 진입하는 것을 의미한다. 이 Sub-task 단계에서는 1.1.1의 관제탑 교신이라는 Sub-Sub-task로 분류하는 작업이 필요하다. 관제탑과 교신을 통해 현재 항공기가 지나고 있는 위치를 통보하고, 착륙하는 공항의 최신 날씨 정보를 입수한다. 이때 공항의 바람의 방향과 속도를 확인하는 것이 중요하다. 맞바람을 맞으며 착륙을 진행해야 착륙에 필요한 거리가 줄어들기 때문이다. 날씨와 바람의 정보는 착륙해야 하는 활주로 확인과 착륙 거리를 산출하는 데 이용된다.

·Sub-task 1.2: 활주로에 정렬 단계는 1.5 자세 변경 조작 단계까지 계속해서 진행이 된다. 사용 활주로의 확인과 PFD(primary flight display)에서 제공하는 로컬라이저와 글라이드 슬로프를 확인하여 착륙을 위해 하강하는 과정에서 활주로에 중앙으로 맞추는 조작을 수행한다.

·Sub-task 1.3: 플랩(flap) 수준 설정 단계는 플랩 설정을 조종함으로써 항공기의 양력을 증대시켜주는 것을 의미한다. 착륙 시에는 최대한 감속하는 편이 착륙 거리를 줄일 수 있다. 항공기 속도를 줄이면서도 항공

기의 무게를 떠받치는 양력이 유지가 되어야 하는데, 이때 플랩의 역할이 중요하다. 1.3 단계는 속도를 줄이기 위한 속도 조작, PFD 속도계에 표현된 속도에 필요한 적정 플랩 수준을 확인하고 플랩을 조작하는 단계로 작업이 수행된다.

· Sub-task 1.4: 랜딩 기어 조작 단계는 착륙 장치를 조작하는 단계이다. A380이나 A330과 같은 항공기에서는 250노트(시속 460킬로미터)라는 조작 가능 최대 속도를 확인 후 기어 조작을 통해 착륙 장치가 내려오도록 한다.

· Sub-task 1.5: 자세 변경 조작 단계는 착륙 장치에서도 메인 바퀴인 뒷바퀴가 먼저 땅에 닿을 수 있도록 항공기 기수 3도에서 0도로 조작하는 작업을 수행한다.

· Sub-task 1.6: 접지 단계는 땅에 바퀴가 닿은 후 활

주로를 이탈하지 않고 착륙거리를 줄이기 위한 작업이 수행된다. 착륙거리를 줄이기 위한 방법으로는 스포일러, 차륜 브레이크, 엔진 역분사 장치가 있는데, 자동으로 작업이 수행되는 스포일러와 차륜 브레이크는 제외하고 엔진 역분사 레버를 조작하는 단위직무만 고려하였다.

위와 같은 Sub-task들을 분류 후에 더 분해할 수 있는 Sub-task는 하향식으로 계속 분해해서 단위직무(operation)를 총 19개로 분류하였다(Fig. 2). Fig. 2에서 더이상 분해되지 않은 각 직무들이 단위직무가 된다. Fig. 2와 같이 표현하면 한눈에 전체적인 작업을 보기는 쉽지만 자세한 내용을 확인하기 어려운 단점이 있다. 이 점을 보완하기 위해 Table 3과 같이 표로 작성하는 과정을 거쳤다. Table 3에서 1.3.1부터 1.3.4

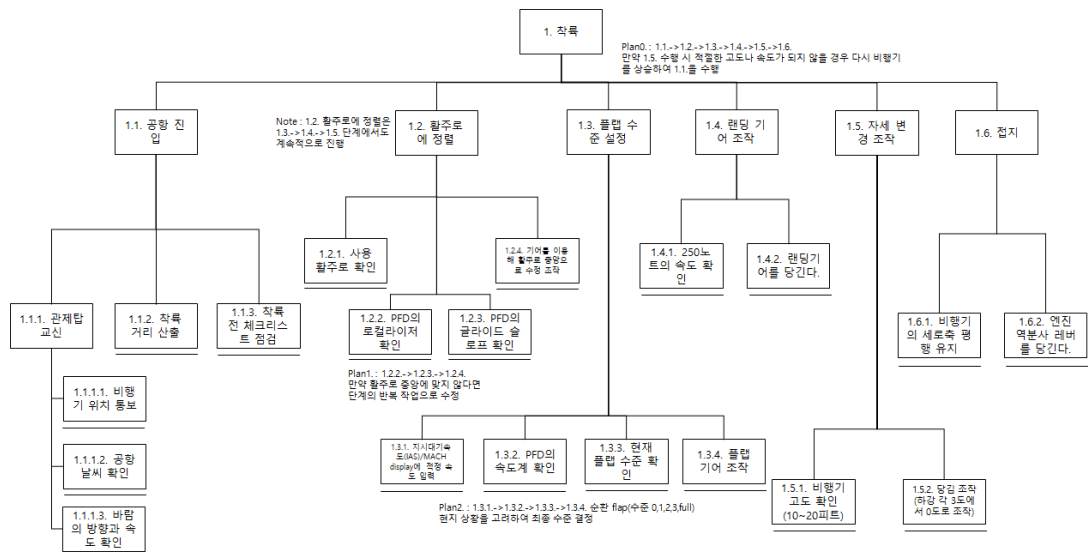


Fig. 2. HTA of aircraft landing task

Table 3. A sample of tabular HTA results

No.	Operation	Information needed for operation	Feedback
1.3	Set a flap		
1.3.1	Dial the 'Speed/MACH' Knob to enter the appropriate speed	Position of 'Speed/MACH' Knob, ECON-Spd(Economic speed) (CI : cost index =60~130)	Provide aircraft speed and adequate flap level
1.3.2	Check the speedometer of PFD	Position of speed display	Provide aircraft speed and adequate flap level
1.3.3	Check the current flap level	Position of flap gear	Current flap level
1.3.4	Operate a flap gear	Position of flap gear	Flap angle

까지의 직무가 단위직무가 된다. 표로 작성된 계층적 직무분석에는 직무 번호, 직무명, 직무 수행을 위해 알아야 할 사항, 피드백의 추가 설명을 작성하였다.

### 3.3 인적오류 식별 및 분석

계층적 직무분석으로 도출된 19개의 단위 직무에 대해 인적오류를 식별한 결과, 총 31개의 인적오류를 도출하였다. 오류의 유형으로 14개(45.16%)의 Action 유형의 오류, 11개(35.48%)의 Checking 유형의 오류, 4개(12.90%)의 Communication 유형의 오류, 2개(6.45%)의 Selection 유형의 오류를 도출하였다.

그리고 현재 분석하는 대상인 A330-200/300항공기에 대해 Table 2에 있는 각 오류 모드별로 발생 가능한 인적오류를 설명하고, 그 결과 초래되는 영향에 대해 분석을 진행하였다. 이후 인적오류 발생 가능 확률(P)과 사고의 중대성(C)을 예측하였다. 이는 도출된 개선책이 처리되어야 할 우선순위를 선택하기 위해 사용된다. 우선순위 선정은 일반적으로 작업에서 인적오류의 사고 중대성, 그러한 오류 발생 가능성 및 오류 복구 가능성 요인의 점수가 결합된 위험 지수를 개발하여 이루어진다(Embrey, 2014). 분류를 위해서는 분석하고자 하는 대상의 도메인 전문가의 지원을 받아 Table 4(Karandikar, 2014)와 같은 기준으로 보통평가를 진행한다. 하지만 본 연구에서는 실질적인 도메인 전문가인 조종사의 도움을 직접적으로 받기 어려워 Table 4 내용의 일부를 수정해 활용하였다. 인적오류 발생 가능 확률(P)의 경우에는 High(7~10의 점

수), Medium(4~6의 점수), Low(1~3의 점수)로 예측을 진행하였고, 사고의 중대성(C)은 예측된 인적오류로 인해 발생하는 결과를 토대로 이러한 방법으로 높음(H), 중간(M), 낮음(L)을 평가하였다. 일반적으로 인지공학 분야에서 절대판단(absolute judgment)을 할 때 구분해야 하는 수준의 수가 적을수록 구분이 상대적으로 용이해진다는 점(Wickens et al., 2016)과 위험성평가에서 위험성평가코드(risk assessment code)를 정할 때도 이처럼 3~4등급으로 일반적으로 한다는 점(Bahr, 2015)에서 이러한 접근법의 근거를 찾을 수 있다.

Table 5는 SHERAP를 활용한 착륙상황에서의 인적오류 예측 및 분석결과의 예를 보여준다. 예로 1.3.1. 단계는 지시대기속도(IAS)/MACH display에 적정 속도를 입력한다. 항공기에 속도를 입력하는 작업은 속도 설정 Knob를 통해 이루어진다. Knob는 반시계 방향으로 돌리게 되면 입력하는 값이 작아지고, 시계방향으로 돌리면 입력하는 값이 커지는 입력장치이다. 이 작업 단계에서 발생 가능한 오류 모드로 A3의 작업을 잘못된 방향으로 조작함을 예측하였다. 착륙 상황에서는 고도에 맞는 적절한 속도로 감속하는 과정이 수행된다. 그렇기 때문에 속도 설정 Knob를 반시계 방향으로 돌려야 함에도 불구하고, 시계방향으로 돌린다는 오류에 대한 설명을 기입하고, 그 결과로 항공기가 감속되어야 하는 착륙 상황에서 속도가 증가하는 결과를 초래한다는 점을 명시하였다. 그리고 인적오류 발생 가능 확률(P)은 Medium, 사고의 중대성은 착륙 시 빠른 속도로 인해 추락이 가능함으로 High로 분류했다.

Table 4. Risk assessment guideline

Rating	Severity of effect	Likelihood of occurrence
10	Hazardous without warning	Very high: Failure is almost inevitable
9	Hazardous with warning	
8	Loss of primary function performance	High: Repeated failures
7	Reduced primary function performance	
6	Loss of secondary function	Moderate: Occasional failures
5	Reduced secondary function performance	
4	Minor defect noticed by most customers	
3	Minor defect noticed by some customers	Low: Relatively few failures
2	Minor defect noticed by discriminating customers	
1	No effect	Remote: Failure is unlikely

Table 5. Sample results of human error prediction in landing task by using SHERPA

Task step	Task	Error mode	Description	Consequence	P	C	Remedial measures
1.3.1	Dial the 'Speed/MACH' Knob to enter the appropriate speed	A3	Pilot turns the Speed/MACH knob in the wrong way	The wrong airspeed is entered and the plane speeds up instead of slowing down	M	H	Training and education system, sensor
		A6	The pilot dials in the desired airspeed using the wrong control knob i.e. the heading knob	Before capture, the auto-pilot will attempt to switch course to the speed value entered causing the plane to leave the glideslope	M	H	Design(HMI, alarm), training and education system, sensor, information aids
		S2	Do not select adequate speed correctly	Entered instead of adequate speed, If aircraft approach at a low speed, the determination of the descent rate and the pulling become inaccurate	M	M	Training and education system, risk assessment, sensor, automation
1.3.2	Check the speedometer of PFD	C4	Pilot misidentifies the current speed on the PFD speedometer	Pilot misidentifies the current speed and lowers the flap late	M	L	Design(HMI), training and education system
		C5	Pilot check the speedometer of PFD late when they lower the aircraft	The aircraft can stall by late changes in flap level to meet minimum speed	M	H	Design(Alarm), training and education system, behavior discipline, sensor
1.3.3	Check the current flap level	C4	Pilot misidentifies flap level	The aircraft can stall by late changes in flap level to meet minimum speed and it affect flap gear operation	L	H	Design(HMI), training and education system, information aids
1.3.4	Operate a flap gear	A2	Failure to lower flap level in time to airspeed	Speed deceleration does not occur on time	M	M	Design(alarm), training and education system, team/organization
		A5	Set the flap level incorrectly	Flap is broken or stalled	L	H	Job procedure, training and education system, behavior discipline

### 3.4 인적오류 감소를 위한 대책

인적오류의 발생은 개인적 요인과 더불어 외부적 요인(직무 절차서의 결함, 부적절한 훈련 및 교육시스템, 부적절한 행동 규율, 의사소통 상의 문제 등 적절하지 못한 작업 상황)의 복합적 상호작용에 기인한다고 일반적으로 간주되고 있다. 반복적인 훈련을 통한 기술 습

득에 의해서 인적오류를 감소시킬 수 있지만, 신뢰성 있는 작업 시스템을 구축하기 위해서는 인적오류를 유발하는 설계요소를 기술적인 개선방안을 통해 조직적으로 제거하는 활동 또한 필요하다. 본 연구에서는 SHERPA 기법을 통해 도출한 인적오류의 개선방안(remedial measure)을 기술적 개선방안과 비기술적



개선방안으로 나누어 제안하고자 한다. Table 6은 대표적인 인적오류 개선방안을 정리해 보여주고 있다. 이러한 개선방안을 바탕으로 Table 5의 마지막 열에 표현된 것처럼 파악된 각 인적오류를 예방하거나 그 가능성을 감소시키기 위한 대응방안을 고려해볼 수 있을 것이다.

또한 위와 같이 제시한 개선방안뿐만 아니라, 어떤 사고든 심층적으로 분석하면 인적오류는 항공운항을 둘러싼 환경과 조직체계, 안전문화 등의 배경이 원인으로 나타난다. 이는 사고를 유발한 인적요인 자체의 문제가 아니라, 인적요인을 관리하는 체계의 문제라고 보는 관점이며, 체계의 발전 없이는 사고를 유발하는 인적요인들을 제거 또는 보완하기 힘들다. 따라서 인적요인에 의한 오류를 최소화하기 위한 방안으로 안전의식 고취 및 안전문화 정착을 위해 지속적으로 체계를 구축해 나가야 할 것이다(Cacciabue, 2004).

#### IV. 결 론

오늘날의 항공기 시스템은 점차 자동화·지능화·정

보화되면서 그 복잡성이 커지고 있으며, 그에 따라 항공기 조종상황에서의 인적수행도 향상의 중요성이 높아지고 있다. 또한 모든 작업을 위한 의사결정이 빠른 시간 내에 이루어지는 급박한 조종상황에서 조종사 및 부조종사의 인적요인으로 인하여 대형사고로 이어질 수 있는 잠재적 발생 가능성이 존재한다. 이런 환경에서 발생가능한 인적오류를 예측 및 분석하여 감소시키고 노력한다면 안전성 확보에 도움이 될 것이다.

본 논문에서는 Airbus A330-200/300 항공기를 중심으로 항공기 착륙 상황의 수행절차를 계층적 직무 분석을 통해 분석하고, 19개의 하위 단위직무별로 발생 가능한 인적오류 31개를 예측하였다. 예측된 인적오류는 SHERPA에서 규정한 오류모드 유형과 관련지어 고려될 수 있었다. 또한 인적오류로 초래되는 결과와 인적오류 발생 가능 확률(P)과 사고의 중대성(C)을 정성적으로 평가하였고 이를 바탕으로 개선방안을 제안하는 과정을 기술하였다. 본 연구는 항공기의 조종상황에서의 인적오류를 예측하고 분석하는 데 SHERPA기법이 유용하게 활용될 수 있음을 보여주는 연구라 할 수 있다.

예측한 인적오류는 항공 운항 과정 중 착륙 상황에서 발생 가능한 인적 오류이기에 항공기의 이륙, 상승, 순항 등 착륙 상황이 아닌 작업에서는 추가적인 연구가 필요할 것이다. 또한 민간 항공기의 종류별로 수행하는 작업이 다를 수 있고, 민간 항공기와 군용 전투기의 수행절차 또한 상이하기 때문에 항공기를 운용하는 전 분야로 범위를 넓히기 위해서는 인적오류 예측 분야의 연구가 활발히 진행되어야 할 것이다. 연구에 사용된 SHERPA 기법을 적용하기 위해서는 분석하고자 하는 대상의 도메인 전문가의 도움이 필요로 하는 단계가 발생한다. 그렇기 때문에 SHERPA기법과 같은 HRA 전문가와 더불어 분석하는 작업영역의 도메인 전문가가 함께 작업을 하는 것이 이상적일 것으로 판단된다. 본 연구는 도메인 전문가의 직접적 도움이 부족한 상황에서 진행되었다는 점을 감안하여 도메인 전문가와 도출된 오류에 대해 신뢰성을 확인할 필요가 있다. 또한 추후 충분한 시간을 갖고 조종사로부터 도출된 인적오류 예측결과와의 비교를 통한 타당성 연구가 중요한 추후 연구로 고려될 수 있다.

#### 후 기

이 논문은 전남대학교 학술연구비(과제번호: 2020-1855) 지원에 의하여 연구되었음.

Table 6. Measures for reducing human errors

Type	Measures
Technical measures	- HMI(Human-Machine Interface) design
	- Alarm system design
	- Computer procedure system design
	- Large information display design
	- Automation(level)
	- Sensors
	- Database
	- Information aids
Non-technical measures	- Task procedure
	- Training systems (including training simulator)
	- Selection of crews
	- Staffing (team/organization)
	- Behavior disciplines (e.g. Human performance tools)
	- Safety audit
	- Accident reporting and analysis system
	- Risk assessment system
	- Safety culture

## References

- Oh, C. S., "Human factors aircraft cockpit design and flying qualities", Conference of the Ergonomics Society of Korea, Seoul, Apr. 17-18, 1992, pp.26-32.
- Boeing, "Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents: Worldwide Operations", Commercial Airplanes, Seattle, 2001.
- Lee, K. S., and Seol, E. S., "A study on the classification system of aviation accidents in major countries", Journal of the Aviation Management Society of Korea, 8(2), 2010, pp.87-100.
- Jeon, W., "A study of aircraft accidents to overcome human error", M.S. Thesis, Kongju University, Kongju, 2013. 12.
- Shorrock, S. T., and Kirwan, B., "Development and application of a human error identification tool for air traffic control", Applied Ergonomics, 33(4), 2002, pp.319-336.
- Martinussen, M., and Hunter, D. R., "Aviation Psychology and Human Factors", CRC Press, Boca Raton, 2010.
- Embrey, D., "Understanding human behaviour and error," Human Reliability Associates, 1, 2005, pp.1-10.
- Sharit, J., "Applying human and system reliability analysis to the design and analysis of written procedures in high-risk industries", Human Factors and Ergonomics in Manufacturing, 8(3), 1998, pp.265-281.
- Ham, D-H., Park, J., and Jung, W., "Extension of TACOM to the complexity of tasks designed for abnormal situations in nuclear power plants", Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 24(5), 2011, pp.601-611.
- Bell, J., Holroyd, J., "Review of Human Reliability Assessment Methods", Health and Safety Executive, Buxton, UK, 2009.
- Sharit, J., "Human error and human reliability analysis", in G. Salvendy (Ed.), Handbook of Human Factors and Ergonomics, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, 2012, pp. 734-800.
- Stanton, N. A., Salmon, P. M., Walker, G. H., Baber, C., and Jenkins, D. P., "Human factors methods: A practical guide for engineering and design", Ashgate, Aldershoot, 2006, pp.143-153.
- Kirwan, B., "A Guide to Practical Human Reliability Assessment", Taylor & Francis, London, 1994, pp.99-103.
- French, S., Bedford, T., Pollard, S. J. T., and Soane, E., "Human reliability analysis: A critique and review for managers", Safety Science, 49(6), 2011, pp.753-763.
- Kirwan, B., "Human reliability assessment", in J. R. Wilson and E. N. Corlett (Eds), Evaluation of Human Work, Taylor & Francis, London, 1990, pp.706-754.
- Embrey, D. E., "SHERPA: A systematic human error reduction and prediction approach", International Topical Meeting on Advances in Human Factors in Nuclear Power Systems, Knoxville, TN, Apr. 21-24, 1986, pp.184-193.
- Harris, D., Stanton, N. A., Marshall, A., Young, M. S., Demagalski, J., and Salmon, P., "Using SHERPA to predict design-induced error on the flight deck", Aerospace Science and Technology, 9(6), 2005, pp. 525-532.
- Stanton, N. A., Wilson, J. A., "Human factors: Step change improvements in effectiveness and safety", Drilling Contractor, 46(51), 2000, pp.36-41.
- Lane, R., Stanton, N. A., and Harrison, D., "Applying hierarchical task analysis to medication administration errors", Applied Ergonomics, 37(5), 2006, pp.669-679.
- Embrey, D., "Application of SHERPA to predict and prevent use error in medical devices", International Symposium on Human Factors and Ergonomics in Health Care, Chicago, IL, Mar. 16-19, 2014, pp.246-253.
- Ghasemi, M., Nasleseraji, J., Hoseinabadi, S., and Zare, M., "Application of SHERPA to

- identify and prevent human errors in control units of petrochemical industry”, *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 19(2), 2013, pp.203-209.
22. Lee, S. J., Kim, J., and Jang, S-C., “Human error mode identification for NPP main control room operations using soft controls”, *Journal of Nuclear Science and Technology*, 48(6), 2011, pp.902-910.
23. Stanton, N. A., “Human error identification in human-computer interaction”, in A. Sears and J. A. Jacko (Eds.), *Human-Computer Interaction: Fundamentals*, CRC Press, Boca Raton, FL 2009, pp.123-134.
24. Annett, J., “Hierarchical task analysis”, in E. Hollnagel (Ed.), *Handbook of Cognitive Task Design*, Lawrence Erlbaum Associates, London, 2003, pp.17-35.
25. Tan, J. T. C., Duan, F., Zhang, Y., and Arai, T., “Task decomposition of cell production assembly operation for man-machine collaboration by HTA”, *IEEE International Conference on Automation and Logistics*, Qingdao, China, Sept. 1-3, 2008, pp.1066-1071.
26. Lee, K. “Airplane Piloting”, Flight Institute, Hanam, 2020.
27. Cathay Pacific Airways, “A330 & A340 Flight Crew Training Manual”, Cathay Pacific Airways, 2004, pp.154-177.
28. Delta Airlines, “Airbus A330-200/300 Aircraft Operations Manual”, Delta Airlines, 2010, pp.35-36.
29. Hwang, C., “Project Airbus A330”, Airbus, 2011.
30. Jung W., and Ham, D-H., “Investigating the roles of team decision making performance factors through analyzing accidents in complex socio-technical systems”, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 38(4), 2019, pp.291-306.
31. Karandikar, V., Sane, S., Sane, S., Jahagirdar, S., and Shinde, S., “Process improvement in a filter manufacturing industry through six sigma DMAIC approach”, *International Journal of Current Engineering and Technology*, 4(4), 2014, pp.2546-2556.
32. Wickens, C. D., Hollands, J. G., Banbury, S., and Parasuraman, R., “Engineering Psychology and Human Performance (4th ed.)”, Routledge, London, 2016.
33. Bahr, N. J., “System Safety Engineering and Risk Assessment (2nd ed.)”, CRC Press, Boca Raton, 2015.
34. Cacciabue, P. C., “Human error risk management for engineering systems: A methodology for design, safety assessment, accident investigation and training”, *Reliability Engineering and System Safety*, 83(2), 2004, pp. 229-240.