

공군의 항공안전 향상을 위한 인적요소 관련 사고의 체계적 분석 기법

임 채 송* · 함 동 한**

*공군 제 1전투비행단

**전남대학교 산업공학과

A Systematic Method for Analyzing Human Factors-Related Accidents to Improve Aviation Safety in the Air Force

Chea-Song Lim* · Dong-Han Ham**

*Republic of Korea Air Force 1st Fighter Wing

**Dept. of Industrial Engineering, Chonnam National University

Abstract

Aviation safety is increasingly important to secure the safety of the Republic of Korea Air Force (ROKAF). A critical activity for enhancing aviation safety is to analyze an accident thoroughly and to identify causes that can explain it reasonably. The results of such a systematic accident investigation can be effectively used for improving information displays, task procedures, and training systems as well as for reorganizing team structure and communication control system. However, the current practice of analyzing aviation accidents in ROKAF is too superficial and simple to diagnose them systematically. Additionally, the current practice does not give a full consideration to human factors that have been identified as main causes of most of the aviation accidents. With this issue in mind, this study aims to suggest a new approach to analyzing aviation accidents related to human factors. The proposed method is developed on the basis of several models and frameworks about system safety, human error, and human-system interaction. Its application to forty-two human factors-related accidents, which have occurred in ROKAF during the last ten years, showed that the proposed method could be a useful tool for analyzing aviation accidents caused by human factors.

Keywords : Aviation Safety, Human Error, System Safety, Accident Investigation

1. 서 론

항공기는 다른 운송 수단과 비교해서 시간적인 측면에서 매우 큰 장점을 지니면서 여러 편의성을 제공해 준다는 점에서 점점 그 필요성과 중요성이 높아지고 있다[8]. 이러한 점은 민간항공 분야뿐만 아니라 국방

산업에서도 마찬가지이다. 국방산업에서도 전투기를 비롯한 여러 종류의 항공기의 전략적 및 운용적 중요성이 높아지고 있는 상황이다. 그러나 다른 운송수단과 마찬가지로 안전성의 측면에서 안전사고가 지속적으로 발생하고 있는 현실이다[3].

† 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구 사업 지원을 받아 수행된 것임(과제번호: NRF-2012R1A1A2042146)

† Corresponding Author: Dong-Han Ham, Dept. of Industrial Engineering, Chonnam National Univ. 77 Yongbong-Ro, Buk-Gu, Gwangju, M: 016-417-4607, E-mail : donghan.ham@gmail.com

Received July 20, 2014; Revision Received December 13, 2014; Accepted December 22, 2014.

항공기는 사고가 발생하면 그 피해는 다른 운송수단과 비교할 수 없을 정도로 피해가 크다. 그래서 이러한 피해를 줄이고 항공기 사고의 예방을 위해 신뢰할 수 있는 자료를 바탕으로 다각적인 측면에서 연구가 필요하며, 항공사고가 발생한 후에 그 사고발생원인과 과정에 대한 사후분석을 실시하는 근본적인 원인은 바로 동일한 사고가 다시 발생하지 않도록 하기 위해서거나 사고발생을 줄이기 위해서다[17].

본 연구의 목적은 공군에서의 항공 안전을 향상시키기 위해 필수적으로 요구되는 항공 안전사고를 체계적으로 분석하는데 유용한 방법을 제공하는데 있다. 특히 대부분의 항공 안전사고의 주원인으로 인식되어온 인적 요소 관련 사고를 다각적이고 종합적으로 분석할 수 있는 프레임워크를 제안하였다. 또한 한국 공군에서 과거 10년 동안 발생한 인적 요소 관련 항공 사고에 제안한 방법을 적용해서 제안한 방법의 유효성을 검토하고 그 실용성을 높이고자 하였다.

2. 인적오류에 대한 이론적 고찰

인적오류란 인간이 환경이나 기계, 시스템 등과의 인터페이스에 부적절하게 반응하고 이로 인하여 원하는 목표에 어긋나거나 잘못된 결과를 초래하게 만드는 행동을 말한다[14]. 즉 효율, 안전 또는 시스템 수행도를 감소시키거나 감소시킬 수 있는 부적절 하거나 바람직하지 못한 인간의 결정 또는 행동이다[16].

인간공학의 영역에 있어서 인적오류의 의의는 인간의 신뢰성의 문제로서 취급되고 있으나, 이 인간의 신뢰성은 인간-기계 시스템 전체의 신뢰성과 관계가 있기 때문에 이를 어떠한 방법으로 대처할 것인가에 중요한 의미를 가지고 있다[16]. 일반적으로 “승무원”의 오류만 인적오류라고 생각할 수 있지만 장치 설계자, 관리자, 감독자 등 시스템의 설계와 조작에 관여하는 사람들도 오류를 범할 수 있다. 따라서 인적오류를 말할 때에는 승무원만 생각해서는 안 되고 시스템 전체를 고려하여야 한다[2] [5].

중중 오류가 잘못 관리되거나 방치될 경우 불안정한 항공기 상황으로 야기한다. 따라서 실수는 비행의 안전 여유를 감소시키고 부적절한 상황으로 악화될 가능성을 증대시킨다. 또한 오류는 특정한 위협이나 이전에 발생한 다른 실수와 직접적인 관련을 가질 수도 있으며, 그 자체로 독립적으로 발생할 수도 있다[15]. 그 예로는 ‘안정된 접근을 유지하는 데 미흡한 조종 능력, 잘못된 자동화 모드의 사용, 중요한 통신을 생략하는 일, 관제 지시를 잘못 이해한 경우’ 등 상당히 광범

위하다. 그런데 보다 중요한 문제는 상황이 악화되기 전에 승무원들이 실수를 발견하고 이에 적절히 대처하는지에 달려있다[5]. 이것은 위협 및 오류관리가 오류의 발생 원인에 초점을 두는 것 보다 오류를 발견하고 대처하는 관리적 차원을 중점적으로 다루기 때문이다. 경험적으로 실수는 자주 일어나고 있으나 대부분이 조기에 발견되어 적절하게 처리되므로 더 이상 악화되지는 않는다. 따라서 실수를 범할 가능성은 일반적으로 인정되며, 더구나 효과적인 오류 관리 경험이 지니는 가치를 고려한다면 이것은 인적요인 차원의 성공적인 사례이며 교육 및 훈련에 있어서도 중요하다. 오류에 대하여 언제, 누구에 의해 실수가 발견되었으며 그 영향이나 적절한 대처 방안이 무엇인가를 파악하는 것은 바람직한 오류 관리이다[4] [17].

최근 30년 동안 다수의 인적오류 분류체계와 분석법이 개발되고 인간의 정보처리 모형과 연계한 인지적인 인적 오류에 관한 많은 연구가 이루어지면서 예전보다는 훨씬 더 체계적으로 인적오류를 연구하고 실제적으로 방지하고 대처하는데 도움을 받고 있다 [6] [12] [13] [18]. 그런데 이용 가능한 인적오류 분석방법 중에서 어떤 것이 관심의 대상이 되는 분야의 인적요소 관련 사고를 다루는데 효과적인지는 늘 관심의 대상이 된다. 아울러 새로운 분석법이 필요로 할 때 그 새로운 분석법이 최소한으로 지니고 있어야 하는 기능적 혹은 구조적 요건이 무엇인지 파악하는 것 역시 매우 중요하다 [9] [16].

3. 공군의 현행 비행사고 분석방법

공군에서 항공기 사고가 지속적으로 발생하면서 사고의 종합적이면서 체계적인 분석이 중요해짐에도 불구하고 아직까지는 피상적인 수준에서의 분석만이 이루어지고 있는 현실이다. 주로 현재 공군에서는 사고에 대한 현황을 이해하기 위해 두 가지 관점에서 사고를 분류하고 있다. 계절별 비행사고 건수 및 요인별 비행사고 건수. 요인별 사고건수와 관련해서 네 가지의 사고 요인이 구분되고 있다: 인적요소, 자재요소, 환경요소, 기타요소.

<Table 1>과<Table 2>는 각각 공군에서 최근 10년('04년 ~ '13년)동안 발생한 총 71건의 사고에 대해 계절별 특성(기후, 미션, 임무요원의 컨디션 및 계절적 장애 요소 등)과 4가지 요인을 기준으로 분류한 결과를 보여주고 있다.

<Table 1> The Number of Accidents by Seasons

	봄	여름	가을	겨울
중사고	6	7	4	3
경사고	0	1	2	1
준사고	13	12	8	14
총사고 건수	19	20	14	18

<Table 2> The Number of Accidents by Factors

	인적 요소	자재 요소	환경 요소	기타 요소
중사고	18	1	1	0
경사고	2	0	1	1
준사고	22	12	13	0
총사고 건수	42	13	15	1

공군에서 분석한 자료를 살펴보면 계절별에서는 눈에 띄는 사고 특성이 없었지만, 요인별 기준에서는 인적요소 부분이 전체 결함 71건 중 42건을 차지할 정도로 큰 비중을 차지하였다. 이는 그동안 인적요류 및 시스템안전 분야에서 연구되어온 결과들과 일맥상통하는 내용이다 [1] [6] [9]. 이러한 결과로부터 인적요소 부분에서 사고예방 노력을 한다면 앞으로 발생할 사고율이 많이 저감될 것이라고 판단된다.

그러나 이렇게 단순한 기술통계 위주의 분류와 분석으로는 인적요소 관련 안전사고를 분석하는데 한계가 많다. 보다 실제적으로 인적요소 관련 안전사고를 이해하고 대처하기 위해서는 다양한 관점 및 시스템적 관점에서 인적요소 관련 안전사고를 분석할 필요가 있다. 이를 위해 본 연구에서는 공군에서의 인적요소 관련 사고분석을 위해 유용하게 활용될 것으로 사료되는 네 가지의 모형 혹은 방법을 검토하고 이를 종합해서 새로운 인적요소 관련 사고분석의 개념적 틀을 제시한다.

4. 인적요소 관련 사고분석 체계: 기존 분석 모형 및 새로운 프레임워크

앞에서 설명한 공군의 현행적 분석결과(계절별 및 요인별 사고통계)로는 깊이 있는 사고해석이 어렵다. 특히 안전사고 원인에 큰 부분을 차지하는 인적요류

관련 사고의 분석과 대응에는 많은 정보를 제공하지 못한다. 이러한 문제의식을 갖고 시스템 안전분야 및 관련분야 (인간공학 및 인간-컴퓨터 상호작용)에서 공군의 인적요소 관련 안전사고 분석에 유용할 것으로 판단한 네 가지의 방법 혹은 모형을 설명하고 이를 공군의 항공안전 분야에 적용했다. 또한 이러한 기존의 방법을 적용한 결과를 바탕으로 인적요소 관련 안전사고를 다각적이고 체계적으로 분석하기 위한 개념적 프레임워크를 제안하였다.

4.1 SHELL 모델 기반의 사고분석 제시

SHELL 모형은 인간과 시스템 사이의 상호작용을 통합적이고 시스템적으로 나타내고자 하는 모형이다 [1]. SHELL 모형은 인간-시스템 상호작용을 다섯 개의 구성요소(Software: 소프트웨어, Hardware: 장비, Environment: 환경, Liveware-1: 행동주체, Liveware-2: 행동에 영향을 미치는 다른 사람들)로 표현한다[3]. <Table 3>은 공군의 항공안전에 밀접한 관련이 있는 두 행동 주체인 조종사와 정비사에 관한 SHELL 모델 적용결과를 보여준다.

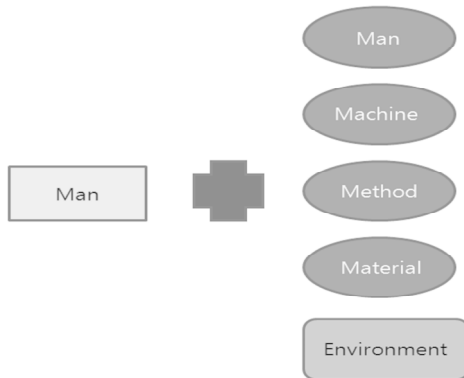
<Table 3> Comparison of Pilot and Ground Crew SHELL Models

구분 모델	조종사	정비사
S	항공기 운항과 관련된 법규, 비행교범, 규정 및 비행절차서등	기술교범, Work Card, 정비체크리스트, 정비운영예규등
H	조종하는데 필요한 각종 도구나 장비	항공기, 자재, 수공구, 지원장비등 정비활동 하는데 필요한 도구
E	주변 환경 (조종석 내/외부 환경)	정비지원시설 (정비사 대기실, 이글루), 체련시간, 휴식시간등 환경요소
L	조종사	정비사
L	他조종사, 정비사, 관제사등 기타 비행에 연관 있는 인원들	他정비사, 조종사, 기타 비행지원 업무에 영향을 주는 인원들

SHELL모델의 구성요소를 인적요소 관련 안전사고와 연결 지어 생각해보면 많은 안전사고는 인간을 나타내는 Liveware와 다른 구성요소들 간의 인터페이스 혹은 상호작용으로부터 발생한다고 해석할 수 있다. 구성요소들로부터 네 가지의 인터페이스 유형을 생각해볼 수 있다. 인간-하드웨어(장비), 인간-소프트웨어, 인간-환경, 인간-인간. 예를 들어서 조종사가 항공기의 제어를 잘못 조작해서 사고가 발생했다면 이는 인간-하드웨어 인터페이스 유형이 이 사고와 관련 있다고 해석이 가능하다. 그래서 특정 유형의 인터페이스가 많은 사고와 관련 있다면 그 인터페이스가 집중적인 시스템 개선 및 교육의 대상이 된다고 할 수 있다.

4.2 M4M1E 모델 기반의 사고분석 제시

안전사고를 일으킬 수 있는 직접적인 원인이 네 가지로 대표된다는 사실을 그로스는 다중요인이론으로 설명하였다. 그 네 가지는 Man(인간), Machine(기계), Method(작업방법), Management(경영관리체계)이다 [10]. 이 다중요인이론의 내용을 공군의 항공안전 분야에 적용하기 위해 약간의 변형을 가해서 [Figure 1]과 같은 M4M1E모형을 고안했다. SHELL모형에서와 같이 많은 사고가 인간과 어떤 요소와의 인터페이스에서 발생한다는 점에 착안해 하나의 M을 추가했고 Management대신에Material을 사용했다.



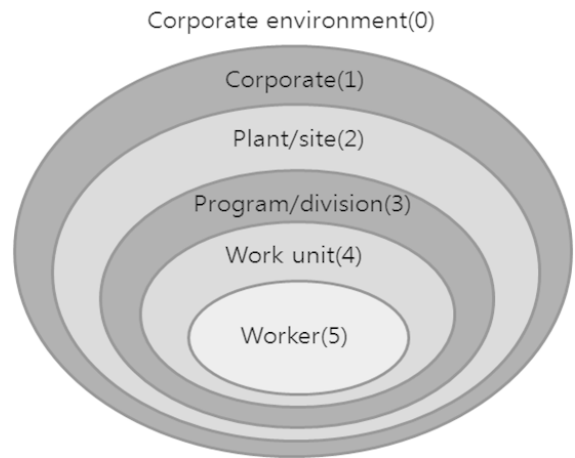
[Figure 1] Structure of M4M1E Model

보다 구체적으로 이 모형의 구성요소를 설명하면 다음과 같다. 첫 번째 “M” 과 4M1E중 첫 번째 “M”은 조종사와 조종사, 조종사와 정비사, 정비사와 정비사 등 사람과 관련된 항목으로 심리적원인, 생리적원인, 직장적원인등이 여기에 해당된다. Machine은 항공기와 관련된 기계, 설비의 설계상 결함, 안전화의 부족 및 비행지원 또는 정비(수리)시에 해당되는 도구 등이 해당된다. Method는 잘못된 정비행위, 잘못된 규정,

규범이나 매뉴얼의 오류, 훈련 부족으로 발생하는 기량 미달 및 건강관리의 불량 등이 해당된다. Material은 항공기 자체의 자체결함, 취급부주의로 발생한 결함 및 오류, 정격 자체가 아닌 불량 및 유사재료가 여기에 해당된다. 마지막으로 “E”는 Environment로서 조종사의 주변 비행환경, 정비활동이 이루어지는 작업장의 환경 등 환경적인 원인이 여기에 해당된다.

4.3 Onion structure 기반의 사고분석 제시

Onion structure 모형은 구(sphere) 형태의 field가 겹쳐진 형태를 하고 있으며, 각각의 단계는 서로 상호작용하기도 하지만 개별적인 속성도 유지한다. 시스템 내에서의 인간의 행위에 영향을 미치는 요인들 및 인간과 시스템과의 상호작용을 계층적 관점에서 설명하기 위한 모형이다[7]. 제일 바깥쪽에 조직의 외부환경이 위치하고 안쪽으로 갈수록 그 범위가 좁아지면서 마지막에는 worker(5)수준으로 좁혀진다. 이때 가장 안쪽의 worker level은 인간-기계 인터페이스를 포함하는 개념이다. Onion structure 모형은 일반적으로 작업자의 생산성과 신뢰도에 영향을 미치는 인자들로 구성되어 있다[9]. [Figure 2]는 Onion structure모형을 보여주고 <Table 4>는 각 계층이 지니는 의미를 설명하고 있다.



[Figure 2] Onion Structure Model

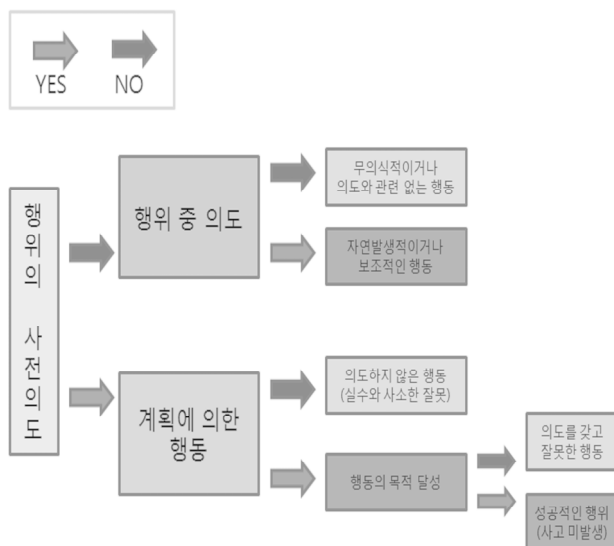
<Table 4> Description of Six Levels of Onion Structure Model

Layer	의미
0	외부환경
1	목표구조, 경영구조
2	현장특유의 문화, 현장 관리자의 특별한 운영스타일
3	보상/처벌 시스템, 경영스타일
4	작업단위, 생산성/신뢰성에 직접적 효과
5	실제적인 업무수행중인 작업자

Onion structure 모델을 시스템 안전사고에 적용할 경우 가장 큰 의미를 지니는 것은 사고의 원인이 어떤 계층과 가장 큰 밀접한 관련이 있는지 파악이 되고 이로부터 그 계층에서 보다 구체적인 사고 방지 및 감소를 위한 노력들이 이루어질 수 있다는 점이다.

4.4 행동분석을 통한 사고분석 모형 제시

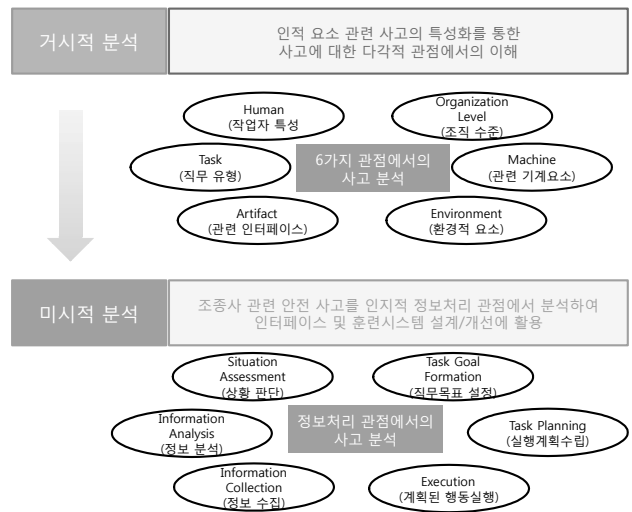
인적오류가 연관된 안전사고의 경우 인간의 인지적인 정보처리(행위와 관련된 문제해결 및 의사결정) 관점에서 그 오류를 이해할 필요가 있다. 인적오류와 관련된 많은 연구가 이루어져 왔는데 본 연구에서는 Reason의 인적오류 모형 및 분류체계를 참고해서 인적오류를 분류할 수 있는 행동분석 방법을 [Figure 3] 과 같이 고안하였다.



[Figure 3] Accident Analysis Process through Behavior Analysis

4.5 인적요소 관련 사고분석을 위한 개념적 프레임워크

앞에서 설명한 인간-시스템 상호작용 및 시스템안전 관련 모델들의 분석들을 참고하여 최근에 발생한 안전 사고들을 거시적인 측면과 미시적인 측면으로 분석해 본다면 기존의 방식보다 다각적인 측면에서 좀 더 세밀하게 분석할 수 있다는 결론을 내리게 되었다. 거시적인 측면에서의 분석은 인적사고의 특성화에 맞게 분석을 하고, 미시적인 관점에서의 분석은 조종사의 인지적 정보처리 관점에서의 인적사고 분석에 맞춰 분석을 진행한다. [Figure 4]는 인적요소 관련 안전사고 분석을 위한 개념적 프레임워크를 보여준다.



[Figure 4] Conceptual Framework for Analyzing Human Error-Related Accidents

5. 인적요소 관련 사고분석 사례연구

4절에서 설명한 네 가지의 인적요소 관련 안전사고 분석 모형 및 제안한 개념적 프레임워크를 적용해서 최근 10년('04 ~ '13)간 공군에서 인적요소 관련해 발생한 총 42건의 사고를 분석해보았다

5.1 SHELL 모형을 이용한 사고분석

공군의 최근의 인적요소 관련 사고를 분석해보니 인적오류의 형태를 10가지의 형태로 구분해볼 수 있었다. 그러한 10가지의 인적오류 형태가 <Table 5>와 <Table 7>에 나와 있다. 인적오류 형태를 SHELL모형에서의 네 가지 인터페이스 유형과 관련지어볼 수 있다. <Table 5>는 그 관련성을 정리한 결과이다. '규

정 미준수' 오류 형태는 인간-장비 및 인간-소프트웨어 인터페이스에 모두 관련된다.

42건의 안전사고를 각 인터페이스 형태별로 분류해보니 인간-소프트웨어 인터페이스 관련사고가 21건으로 가장 많이 발생했다 <Table 6>. 공군의 항공기가 점점 자동화되고 정보화된다는 점을 감안하면 이러한 인간-소프트웨어 인터페이스 관련 인적오류 및 안전사고는 점점 더 중요해질 것으로 판단한다. <Table 7>은 10개의 오류형태별 사고 건수를 분류한 결과를 보여준다.

<Table 5> Relationship between Interface Types and Human Error Types

인터페이스 유형	인적오류 형태
인간 - 장비 (L-H) (Liveware - Hardware)	지각 오류
	고의적인 위반
	정비 실수
	규정 미 준수
인간 - 소프트웨어 (L-S) (Liveware - Software)	절차 미 준수
	기량/지식 부족
	규정 미 준수
인간 - 환경 (L-E) (Liveware - Environment)	외부물질 유입
	의식상실
	공간정위 상실
인간 - 인간 (L-L) (Liveware - Liveware)	부적절한 의사결정

<Table 6> The Number of Accidents during the Last 10 Years ('04~ '13) by Interface Types

	L-H	L-S	L-E	L-L
사고건수	7	21	13	1

<Table 7> The Number of Accidents during the Last 10 Years ('04~ '13) by Human Error Types

인적오류 형태	사고건수
외부물질 유입	10
절차 미 준수	9
기량/지식 부족	7
규정 미 준수	5
지각 오류	3
공간정위 상실	2
고의적인 위반	2
정비 실수	2
의식 상실	1
부적절한 의사결정	1

5.2 M4M1E 모델 기반의 사고분석

M4M1E 모형을 이용해 42건의 사고를 분석하기 위해 이 모형의 각 요소가 공군의 항공안전 문제에서는 어떤 의미를 지니는지 우선적으로 명확하게 할 필요가 있다. <Table 8>은 공군의 항공안전 문제에 적용되었을 때의 M4M1E 모형의 각 요소의 의미를 설명하고 있다.

SHELL모형과 유사하게 인간과 다른 구성요소들간의 인터페이스를 중심으로 사고를 해석하는 것이 의미가 있다. <Table 8>에서 보여지듯이 같이 다섯 개의 인터페이스 유형(예: M2M)별로 사고를 분류한 결과가 <Table 9>에 정리되어 있다. 분석 결과 M4M1E 다섯 항목 중 사람, 행동, 환경에 해당되는 M1M, M3M, M1E만 결합이 발생하였고, 기계 및 각종도구가 해당되는 M2M과 자재 쪽에 해당되는 M4M의 결합은 발생하지 않았다.

<Table 8> Description of Items of M4M1E Model

M	4M1E	내 용	약어
Man	Man	사람과 관련된 항목으로 심리적, 생리적, 직장적 원인들이 해당됨	M1M
	Machine	항공기와 관련된 기계, 설비의 설계상 결함, 안전화의 부족 및 각종 지원 도구 등이 해당됨	M2M
	Method	잘못된 정비행위, 잘못된 규정, 규범이나 매뉴얼의 오류, 훈련 부족으로 발생하는 기량 미달, 건강 관리의 불량들이 해당됨	M3M
	Material	항공기 자재의 자체결함, 취급부주의로 발생한 결함 및 오류, 정격자재가 아닌 불량 및 유사 재료가 해당됨	M4M
	Environment	조종사의 주변 비행환경, 정비 작업장의 환경 등이 해당	M1E

<Table 9> The Number of Accidents during the Last 10 Years('04~ '13) by Iterms of M4M1E Model

항목	M1M	M2M	M3M	M4M	M1E
사고건수	8	0	24	0	10

5.3 Onion structure 모형 기반의 사고분석

5.1절에서 설명한 10개의 인적오류 형태를 Onion structure모형에서 제공하는 제시인자를 이용해 각 오류 형태가 어느 계층에 직접적으로 관련이 있는지 고려해보았다. 완벽하게 대응관계를 정의내리기는 힘들지만 해당 오류 형태가 시스템 안전의 개선 및 방지 측면에서 가장 밀접한 관련을 갖는 계층이 어디인지 대응시켜 보았다. <Table 10>은 그 관련성을 보여주고 있다. '규정 미 준수' 및 '절차 미 준수'의 경우 실제적으로 규정 및 절차를 준수하는 행동 주체가 작업자이기 때문에 직접적 관련성을 맺는 계층이 작업자 계층(level 5)이라고 생각할 수 있다. 하지만 규정 및 절차를 개발하고 이에 대한 준수에 대한 교육은 책임지는 계층을 현장 plant/site (level 2)로 판단해서 이 두 오류 형태를 level 2의 요인으로 분류했다.

<Table 10> Relationship between Human Error Types and Levels of Onion Model

번호	인적오류 형태	Onion Level
1	고의적인 위반	5
2	공간정위상실	4
10	절차 미 준수	2

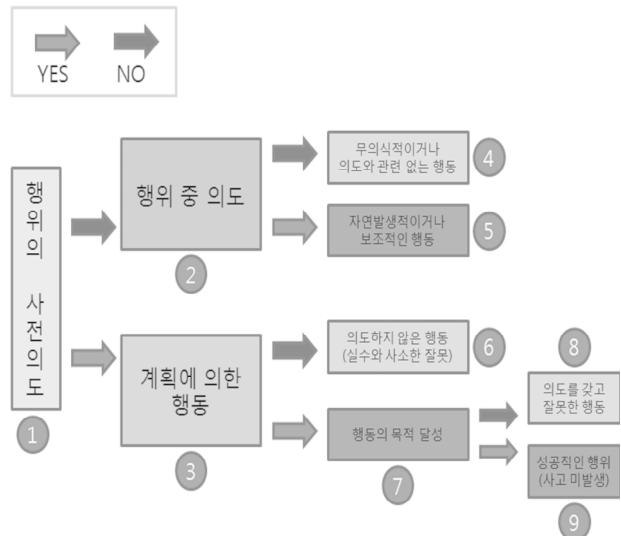
Onion structure 모형의 적용결과에서도 작업자와 직/간접으로 관련 있는level 4와 5에서 많은 요인들이 검출 되었다. 많은 오류형태가 작업자 및 작업방법과 밀접하게 관련되어 있다고 판단 할 수 있다. 개인과 관련된 훈련, 학습, 교육을 통한 수정이 이뤄진다면 인적 요소에 따른 문제점이 줄어들 것으로 판단된다.

5.4 행동분석을 통한 사고분석

[Figure 5]에서 설명한 방법을 이용해 인지적 행동 분석을 통한 사건분석을 수행하였다. <Table 11>은 세 개의 인적요소 관련 안전사고를 보여준다 (순번은

최근사고 순번이고, 행동 분석을 통한 결과 숫자는 [Figure 5]의 숫자를 의미한다).

순번 1의 사고는 편대사격 임무라는 사전의도를 가진 계획적인 행동이었으나 규정을 어기고 사격 외의 경로로 진입하여 사격을 하던 항공기간 충돌이 일어난 사고이기 때문에 의도하지 않은 행동(실수와 사소한 잘못)에 해당된다.



[Figure 5] Steps of Accident Analysis through Behavior Analysis

<Table 11> Three Human Error-Related Accidents

순번	일시	원인분석			사고 개요(원인)	세부 요인 분석
		요인	제공자	등급		
1	2004	인적	조종사	중	편대 사격 임무중 사격외 경로로 진입하여 #1과 #2 충돌함	규정 미 준수
8	2006	인적	조종사	중	깊은 강하각 및 고속에서 회복조작 등 High "G" 에 의한 의식상실(G-LOC)	의식 상실
42	2013	인적	조종사	중	기동 훈련 중 회복조작 시도 중 지면에 충돌	절차 미 준수

(①→③→⑥)

순번 8의 사고는 비행 중 발생하는 “G” 에 의한 의식상실로 발생한 사고로서 사전의도가 되지 않은 상태에서 회복 조작 등의 행동으로 행위가 의도되어 무의식적으로 의도와 관련 없는 행동에 해당된다.

(①→③→④)

순번 42의 사고는 기동 훈련 비행 중 발생한 상황에 대해 회복조작 시도 중에 절차가 아닌 본인 판단에 의한 조작으로 지면에 충돌한 사고로서 사전의도가 있는 계획에 의한 행동이었고, 사고가 발생했기 때문에 행동의 목적 달성이 이루어지지 않은 의도를 갖고 행한 행동에 해당된다.

(①→③→⑦→⑧)

이러한 분석을 통해서 행동분석 모형에서 나타나는 네 가지의 오류형태별로 몇 건의 사고가 발생했는지를 <Table 12>에서 보여주고 있다.

<Table 12> Results of Accident Analysis through Behavior Analysis

행동분석에서의 오류형태	사고 건수
무의식적이거나 의도와 관련 없는 행동	10
자연발생적이거나 보조적인 행동	5
의도하지 않은 행동 (실수와 사소한 잘못)	18
의도를 갖고 잘못된 행동	9

행동분석을 통한 분석 결과를 살펴보면 의도하지 않은 행동으로 인한 사고발생이 가장 높았는데, 여기에 나타난 의도하지 않은 행동이란 계획에 의한 행동 중 실수 및 잘못된 행동으로 발생한 사고를 말한다. 그리고 무의식적 의도와 관련 없는 행동이 그 다음으로 많이 발생하였는데 조종사나 정비사의 전문성과 관련이 깊은 것으로 분석되었고, 의도를 갖고 잘못된 행동으로 발생한 사고는 욕심에 따른 무리한 행동 때문에 다소 많이 발생한 것으로 나타났다. 마지막으로 자연발생적 보조적인 행동에 의한 사고는 항공기 노후, 주변 환경 영향으로 발생한 것으로 판단된다.

5.5 제안한 프레임워크를 활용한 사고분석

4.5절에 설명한 인적요소 관련 사고분석을 위한 개념적 프레임워크를 활용해서 두 단계에 걸쳐 분석을 수행하였다. 먼저 거시적 분석에서는 각 인적요소 관련

안전사고를 특성화하였다. <Table 13>은 거시적 분석 결과의 일부를 보여준다. 이러한 거시적 분석이 이루어진 후 각 사고에 대한 개선안 내지는 대처방안이 마련될 필요가 있다 (<Table 13>의 맨 오른쪽 열). <Table 14>는 42건의 사고분석을 통해 생각해볼 수 있는 개선방안을 정리한 결과를 보여준다.

<Table 13> Examples of Macro-Level Accident Analysis

사고 순번	작업자 유형	조직 수준	직무 유형	관련 기계 요소	관련 인터페이스	환경적 요소	개선안
1	조종사	2	비행 중	×	훈련 체계	×	① ⑤
2	정비사	2	항공기 정비 중	×	커뮤니케이션 체계	작업장	② ⑧
3	정비사	2	항공기 정비 중	×	커뮤니케이션 체계	항공기 주기장	②
4	조종사	1	비행 중	×	훈련 체계	×	① ⑤
6	N/A	2	항공기 정비 중	×	직무 절차	항공기 주기장	③ ⑦

<Table 14> Suggestion of System Improvements Based on the Results of Macro-Level Analysis

개선안	개선 내용
①	비행 교범 內(내)에 각 임무별 절차 교육
②	항공기 관련 지상사고 및 안전관리 부분 교육 실시
③	외부 물질(F.O) 제거 활동 실시 및 외부 물질 관련 교육
④	정비사 실무교육(각 특기별 점검 절차 및 특수공구 사용법) 강화
⑤	비상 상황 발생 시 대처요령 교육 강화
⑥	비행전/후(Service inspection) 점검 절차 및 좌석 출입 절차 교육
⑦	계절별 및 외부 환경 특성에 따른 점검 절차 교육
⑧	피해나 손상 예방용 장비 및 도구 개발
⑨	긴급 상황 발생용 조종 보조 시스템 개발(하드웨어)

거시적 분석 후에 조종사 관련 사고에 대해 미시적 분석을 통해 인지기적 정보처리 관점에서 보다 세밀하게 인적요류를 분석하였다. <Table 15>는 미시적 분석 결과를 보여준다.

<Table 15> Micro-Level Accident Analysis

사 고 순 번	오류 유형	관련 정보처리 단계	정보처리단계 설명
1	기억 실패	계획 실행	사격에 너무 신경 쓴 나머지 진입하지 말아야 할 곳으로 진입
4	착오	목표 설정	회복 자세로 돌아가려고 했으나 지각오류로 실패함
5	착오	목표 설정	회복 자세로 돌아가려고 했으나 지각오류로 실패함
8	착오	상황 판단	무리한 조작행동으로 의식상실 됨
9	기억 실패	계획 실행	순간 기억 실패로 사고발생
14	기억 실패	계획 실행	편대비행을 하고 있다는 사실 망각하여 사고발생
15	착오	상황 판단	사격욕심으로 인한 무리한 진입에 의한 사고발생
18	착오	상황 판단	조종사의 판단실수로 임무중지
21	착오	상황 판단	조종사의 판단실수로 엉뚱한 조작 실시하여 사고발생
22	착오	목표 설정	규정된 조작이 아닌 임의 판단에 의한 조작으로 사고발생
29	착오	목표 설정	임무에 심취한 나머지 조작이 늦어져 사고발생
30	착오	목표 설정	현재 상황 판단 미인지로 사고발생
32	실수	계획 실행	비상상황발생으로 착륙시도 중 주변 시설물 미인지
33	착오	목표 설정	무리한 조작으로 사고발생
36	착오	상황 판단	비정상 절차 수행으로 사고발생
42	실수	계획 실행	무리한 기동에 의한 실수로 회복이 안되어 사고 발생

제안한 분석 프레임워크를 활용하였을 때 거시적인 부분에서는 기존에 분석했던 모델들의 결과 내용을 한 눈에 볼 수 있을 뿐만 아니라 그 결과에 대한 개선안을 적용시킬 수 있었다. 또한 미시적인 부분에서는 기존에 발생한 사고들이 인지적 인적오류의 세 가지 유형 중에서 착오(mistake), 실수(slip), 기억실패(lapse)의 어느 유형에 해당하는가를 파악하였다. 또한 각 사고들이 인지적인 정보처리의 어떤 특정단계에 밀접하게 관련 있는가에 대한 분석도 이루어졌다. 목표설정, 계획수립 및 상황판단 등 고차원적인 인지적 활동과 관련되어 있는 착오와 주의력 부재로 인한 실행과정에서의 실수의 구분은 인적오류 연구에서 중요한 의미를 지닌다[14]. 착오와 실수를 감소하기 위한 시스템 및 인터페이스 개선의 방향은 다른 전략을 취할 수

밖에 없기에 이렇게 인적오류의 유형의 관점에서 사고를 특성화하는 것은 매우 중요하다. 특히 착오의 경우 적절한 정보지원을 외부에서 제공해주어야 하는 경우가 많은데 작업자가 필요로 하는 정보를 도출하기 위해 인지적 정보처리단계의 관점에서 사고를 분석하는 것도 중요한 의미를 지닌다.

이렇듯 제안한 프레임워크는 기존의 안전사고의 분석방법과 비교해 보다 구체적으로 작업자의 인지적 정보처리 및 관련된 인지적 오류유형에 관점에서 사고를 분석할 수 있는 가능성을 제공해준다. 이로부터 기존의 분석 모형 혹은 방법을 보완하고 인적오류 관련 안전사고를 다각적이고 체계적으로 분석하는데 유용한 방안을 제공한다고 판단된다.

6. 결론

본 연구는 공군의 항공안전 향상을 위해 안전사고 중에서 가장 큰 비중을 차지하는 인적요소 관련 사고를 보다 체계적이고 종합적으로 분석할 수 있는 방안을 연구하였다. 이를 위해 기존의 시스템 안전 및 관련 분야에서 항공안전 사고 문제에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단되는 네 가지의 모형 혹은 방법을 검토하고 이를 공군의 항공안전 문제에 적용해보았다. 또한 이러한 검토결과를 바탕으로 인적요소 관련 안전사고를 다각적이고 체계적인 방법으로 분석해볼 수 있는 개념적 프레임워크를 제안하였다. 검토된 네 가지의 기존 방법 및 제안한 프레임워크를 이용해 최근 10년 동안 공군에서 발생한 인적오류 관련 42건의 안전사고를 분석하였다. 분석 결과 기존의 방법들은 각각 사고를 분석하고 이해하는데 유용한 정보들을 제공함을 알 수 있었고 제안된 프레임워크는 기존의 방법을 보완하면서 새로운 유용한 안전사고 분석 방안을 제공해줄 수 있음을 확인할 수 있었다. 향후 보다 많은 안전사고에 적용을 통한 보다 정밀한 검증이 요구되며 제안한 프레임워크를 보다 쉽게 활용할 수 있는 지침 등이 마련되어야 할 것이다.

7. References

- [1] Cacciabue, P.C. and Cacciabue, C. (2004). *Guide to Applying Human Factors Methods*. London: Springer.
- [2] Ham, Dong-Han. (2011). "Research Trends of Cognitive Systems Engineering Approaches to Human Error and Accident Modelling in Complex Systems." , *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 30(1): 41-53.
- [3] Hawkins, F.H. (1983). *Human Factors in Flight*. Hants: Ashgate.
- [4] Heinrich, H., Petersen, D., and Roos, N. (1980). *Industrial Accident Prevention: A Safety Management Approach* (5th ed.). New York: McGraw-Hill.
- [5] Helmreich, R.L. (1997). "Managing Human Error in Aviation." , *Scientific American*, 276: 62-67.
- [6] Hollnagel, E. (1988). *Cognitive Reliability and Error Analysis Method (CREAM)*. Oxford: Alden Group.
- [7] Jang, Dong Joo, Kim, Yoo Ik, Jeong, Chang Hyun, and Kim, Jae-Hwan. (2003). "Organizational Factors in Korean Nuclear Power Plants." , *Proceedings of Korean Nuclear Society Fall Conference*.
- [8] Kim, Dae-Ho. (2011). "Effort and Development Direction of Aviation Organization Against Human Errors." , *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 30(1): 29-39.
- [9] Kim, Dong-San, Baek, Dong-Hyun, and Yoon, Wan Chul. (2007). "An Investigation of Human Error Analysis Techniques in Various Industries with Implications for the Korean Railway Industry." , *Journal of the Korean Society for Railway*, 10(1): 7-15.
- [10] Kim, Geon Ho, Kim, Yoon Sung, Kwon, Sang Myun, Lee, Gang Bok, Park, Joo Sik, and Kang, Kyong Sik. "A Study of Accident Mode and Effects Analysis for Using FMEA." , *Journal of Korea Safety Management Science*, 6(1): 11-23.
- [11] Lee, Kwan Suk and Lee, Young Kwan. (2011). "Importance of Human Error to Prevent Industrial Accidents." , *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 30(1): 151-160.
- [12] Lee, Yong Hee. (2011). "A State-of-the-Art Report on the Current Human Error Studies: What and How to Cope with." , *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 30(1): 1-8.
- [13] O' Hare, D., Wiggins, M., Batt, R., and Morrison, D. (1994). "Cognitive Failure Analysis for Aircraft Accident Investigation." , *Ergonomics*: 37(11): 1855-1869.
- [14] Reason, J. (1990). *Human Error*. New York: Cambridge University Press.
- [15] Senders, J.W. and Moray, N.P. (1991). *Human Error: Cause, Prediction, and Reduction*. New Jearsey: Erlbaum.
- [16] Swain. A.D. and Guttman, H.E. (1983). *A Handbook of Human Reliability Analysis with emphasis on Nuclear Power Plant Applications*. Washington, DC 20555, USNRC.
- [17] Wiegmann, D.A. and Shappell, S.A. (2003). *A Human Error Approach to Aviation Accident Analysis: The Human Factors Analysis and Classification System*. Hants: Ashgate.
- [18] Yoon, Wan Chul, Lee Yong Hee, and Kim, Young Soo. (1994). "Human Error Analysis in Nuclear Power Plants Based on a Cognitive Model." , *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 13(2): 33-41.

저자 소개

임 채 송



호남대학교 컴퓨터공학과 공학사 및 전남대학교 산업대학원 산업공학과 공학석사 취득하였음. 1999년부터 현재까지 공군에서 항공기 정비부사관으로 근무 중. 관심 연구 분야는 항공안전, 인지 시스템공학, 지식서비스공학, 인간-컴퓨터 상호작용, 시스템 안

전공학 등.

주소 : 광주광역시 광산구 송도로 182번길 55

함 동 한



현재 전남대학교 산업공학과 부교수. 인하대 산업공학과 공학사, KAIST 산업공학과 공학석사 및 공학박사를 취득하였음. 2001 ~ 2005년 ETRI 선임연구원 재직. 2005 ~ 2012년 영국 미들섹스 대학교 공학 및 정보과학부 종신 연구중심교원 재직.

연구 분야는 인지시스템공학, 지식서비스공학, 서비스 과학, 인간-컴퓨터 상호작용, UX 기반 제품 및 기술혁신, 시스템 안전공학 등

주소 : 광주광역시 북구 용봉로 77 전남대학교 공과대학 산업공학과