

HFACS를 이용한 항공기사고 분석 사례 연구

한 경 근* · 노 요 섭*

- The Case Study of Aircraft Accident Analysis by HFACS -

K. K. Han* · Y. S. Noh*

ABSTRACT

In this paper, we propose the application of the Human Factors Analysis and Classification System(HFACS) to analyze an aircraft accident data.

HFACS is a general human error framework originally developed and tested within the U.S military as a tool for investigating and analyzing the human causes of aviation accidents. It was examined that HFACS reliably accommodate all human causal factors associated with the commercial accidents. We found that the HFACS could be used as a reliable tool for investigating aircraft accidents including a single accident analysis.

1. 서 론

사고조사의 중요한 분야 중 인적오류(human error)에 대한 분석은 오류의 분류체계에 따라 상이한 결과가 도출 될 수 있고 이에 대한 다양한 분류체계가 전문가들에 의해 연구되었는데 Senders and Moray(1991)의 분류, Shappell and Wiegmann(1997, 2001)의 분류, Sutcliffe and Rugg(1998)의 분류, O'Hare (2000)의 제안 등이 그 대표적인 예라고 할 수 있다.

본 연구에서는 Reason의 분류체계에 기본을 두고 항공기 사고조사에 적용하기 위해 고안된 HFACS를 적용하여 항공기 사고의 원인으로 제시된 인적오류를 사례분석을 통하여 재분석하는 방법을 제시하였다.

* 한서대학교 항공운항학과

HFACS는 미군에서 개발되고 실험이 이루어진 일반적 인적 오류(Human errors)에 관한 분류체계로서 1990년에 발표된 “Reason’s(1990) model of latent and active failures”에 근거하여 모든 시스템의 단계별 인적 오류(Human Errors)에 관한 내용을 분석하는 도구로 개발되었다.

본 연구에서는 선행연구에서 신뢰성과 포괄성이 입증된 HFACS를 이용하여 기존의 항공기사고조사 기록을 분석하고 도출된 결과를 유용한 개입(Intervention)전략의 기본으로 사용할 수 있다는 사실을 사례분석을 통하여 입증하고자 하였다. 연구의 결과 HFACS는 기존 항공기사고조사 DB를 통한 포괄적 분석 뿐만 아니라 단일 항공기 사고 조사의 재분석 등에도 폭 넓게 적용될 수 있음이 입증되었다.

2. 본 론

2.1 이론적 배경

인간은 인간이 가진 천성에 의하여 누구나 실수를 한다. 그러므로 인적오류로 인하여 다양한 직업적 사고들이 발생한다는 것은 전혀 놀라운 일이 아니다. 민간 또는 군 항공 사고의 70~80%가 바로 이러한 인적오류로 인하여 발생했다. 사실 기계적 결함으로 일어난 미 해군/해병대의 항공사고는 지난 40년간 현격하게 줄어든 반면, 인적오류에 의하여 발생한 항공사고는 훨씬 더 낮은 비율로 줄어들고 있다. 이러한 수치는 인적오류의 발생 또는 인적오류로 인한 사고를 줄이는데 목표를 둔 방법이 기계적인 결함을 줄이기 위한 방법만큼 효과적으로 발전하지 못했다는 것을 나타낸다고 볼 수 있다[1].

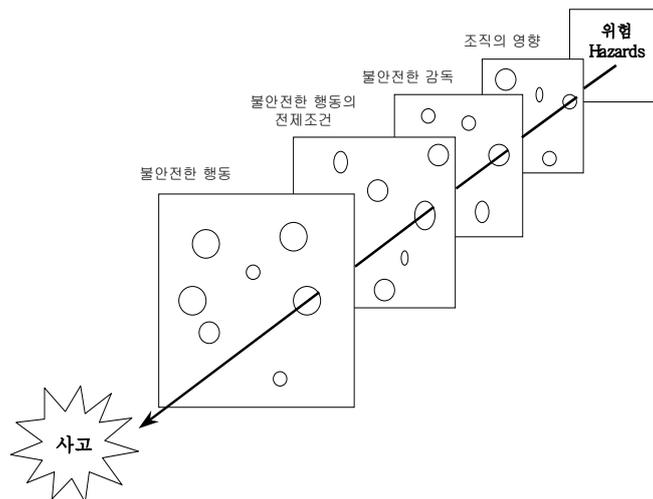
항공기사고의 인적오류를 조사하는 방법은 사고(Accident) 및 준사고(Incident) 데이터를 분석하는 것이다. 불행하게도 대부분 사고보고 시스템은 인적오류의 이론적 체계에 근거하고 있지 않다. 실제로 대부분의 사고보고 시스템은 항공공학을 전공한 전문가들과 특정 분야의 인적 요소 경험을 가지고 있는 전문가들이 시스템을 설계했다. 그 결과 이러한 시스템들은 공학 부분과 기계적 결함을 확인하는데 있어서는 유용한 것으로 평가되지만 인적오류를 확인하는 데에 있어서는 상대적으로 효율적이지 못하였다고 볼 수 있다. 심지어 인적오류가 전달되는 과정에서 용어나 변수들이 종종 잘못 정의되고 기록된 데이터베이스들이 나타났다. 이러한 현상으로 인하여 사고 발생 후 데이터베이스가 인적오류의 분석에 별 도움을 주지 못하고 개입(Intervention)전략의 적용을 더욱 힘들게 하고 있다.

HFACS (Human Factors Analysis and Classification System)은 인적오류의 분석을 보다 용이하게 하기 위하여 개발되었다. HFACS는 이미 일어난 사고의 조사와 분석시스템에 대한 보조시스템으로서 활용되었다. HFACS는 사고조사 중 수집된 인적요

소 정보의 양과 질 측면을 모두 강화하면서 1,000건 이상의 군 항공사고의 인적오류의 분석에 사용이 되었고 유용한 개입 전략(Intervention Strategy)에 적용되어 왔다.

HFACS의 신뢰성(Reliability)을 검증하기 위해 1990년 1월부터 1996년 12월 사이에 발생했던 NTSB의 상업용 항공기 사고 기록들을 HFACS에 적용시켜 분석한 선행연구의 결과 Cohen's kappa 지수는 .71이었는데 이 지수를 Fleiss의 기준에 적용시켜 보면 "good" 등급에 해당되는 것이다[2].

또한 HFACS가 인적오류를 전반적으로 설명할 수 있는가 하는 포괄성(Comprehensiveness)의 문제가 제기될 수 있다. 인적요인과 관련된 319가지의 인적오류가 HFACS체계를 적용하였을 때 현존하는 원인 요소들을 파악하기 위하여 어떠한 새로운 HFACS 부문(category)이 필요하지 않았고 코딩과정(coding process)중 승무원에 관한 어떠한 인적요소 데이터들도 분류되지 않은 것이 없는 것으로 나타났다[3].



<그림 1> Reason의 “스위스 치즈” 모델

2.2 HFACS 분류체계 (Classification System)

HFACS는 인적 과실을 네 가지 범주로 나누고 있다. 대분류는 운영자의 불안정한 행위, 불안정한 행위의 전제조건, 불안정한 감독, 조직의 영향력 등으로 나누어지며 각각의 대분류는 하위분류로 세분화되고 세부 분류별로 구체적인 사례(원인요소)가 정의될 수 있다<표 1>. 원인요소의 코딩과정(Coding Process)에는 관련 전문가가 참여하였으며 Wiegmann의 연구에서는 119건의 민간항공기 사고에서 319개의 원인요소를 도출하였다[4].

Reason은 사고의 발생은 4가지 대분류 체계 내의 결함이 서로 연결되어 일어난다고 주장하였다. 즉, 이러한 시스템 내의 결함은 전체 시스템의 신뢰도를 저하시키고 각 분류 내에서 사고의 잠재요소로 작용하다가 서로 연결되는 순간 사고가 발생한다는 스위스 치즈 모델<그림1>을 개발하였다[5].

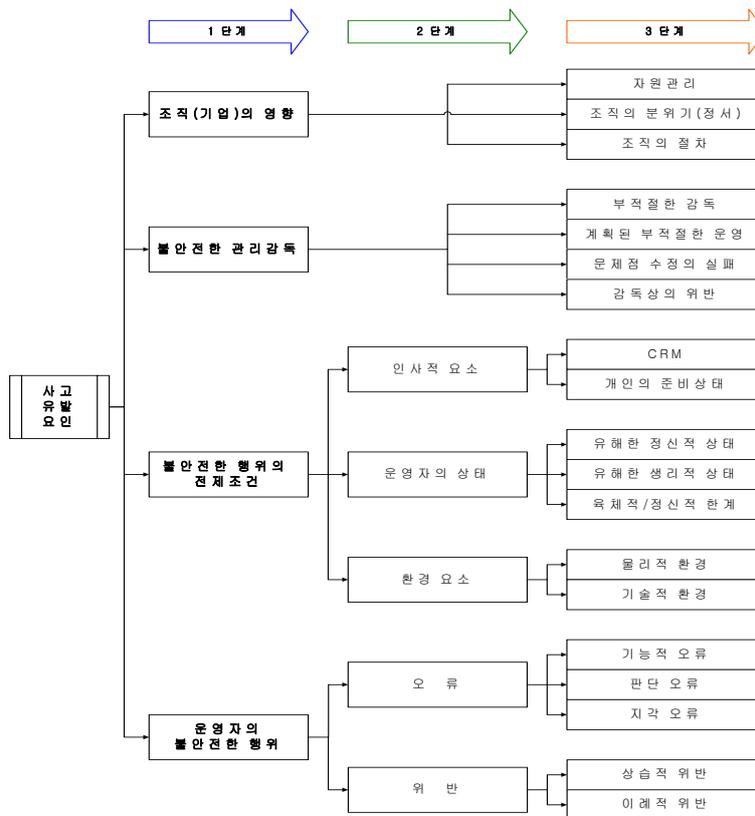
2.3 HFACS의 적용사례

2.3.1 포괄적 적용

1) 분석방법

NTSB와 FAA에 의하여 관리되고 있는 데이터베이스 기록을 사용하여 1990년 1월부터 1996년 12월까지 발생한 CFR Part 121과 135에 적용을 받는 정기항공사의 사고에 대하여 HFACS를 이용하여 인적오류에 대한 분석을 수행하였다. 조사가 완료되고 사고의 원인이 밝혀진 사고에 대한 분석에서, 119건의 사고가 이러한 기준에 부합되었는데 이 중 49건의 사고는 Part 121에 해당되고 75건의 사고는 Part 135에 해당되었다. 기존자료를 토대로 인적오류를 분류한 결과는 다음과 같이 나타났다.

<표 1> HFACS의 분류 및 분석체계



2) 분석 결과

□ 불안정한 행위(Unsafe Acts)

불안정한 행위 등급(Unsafe Acts) 만으로 비교해 보면 비행기량에 의한 과실이 사고의 가장 큰 부분으로 판명되었다. 승무원 관련된 사고 중 약 60%가 적어도 하나 이상의 비행기량과 관련이 있는 과실이였다. 이러한 비율은 FAR Part 121(63.6%)과 FAR Part 135에 적용을 받는 정기항공사의 사고(58.7%)에서 모두 유사하게 나타나고 있다. 비행기량에 근거한 오류에 관련된 사고의 비율은 연구에서 조사된 7년 이상의 기간 동안 거의 불변하는 것으로 나타났다. 그러나 1995년과 1996년의 경우 비행기량에 근거한 오류에 관련된 사고는 현저하게 감소된 것으로 나타났다.

불안정한 행위(Unsafe Acts)의 다른 부분 중에서 의사결정 오류(Aviation Decision Making Error)와 관련된 사고가 비행기량과 관련된 사고 다음으로 높은 비율(약29%)로 나타났다. 이러한 비율도 FAR Part 121(25.0%)과 FAR Part 135 carriers(30.7%) 모두 비슷한 비율로 나타났다. 1994년에 의사결정 과실(Decision Making Error)과 관련된 승무원 관련 사고의 비율이 60%에 도달했던 때를 제외하고 연구 기간 내에 이러한 과실과 관련된 사고의 비율은 비교적 일정하였다.

규정과 법 위반에 관한 사고는 조사된 사고의 26.9%였다. FAR Part 121(25.0%)과 FAR Part 135 carriers(28.0%) 역시 모두 비슷한 비율로 나타났다. 그러나 법규 위반에 대한 사고는 1990년에 6%로 낮게 나타났고, 1996년에는 46%로 뚜렷이 증가된 빈도를 나타내었다.

인지 과실(Perceptual Errors)과 관련된 사고의 비율은 상대적으로 낮았다. 119건의 사고 중 오직 17건만이 인지적 과실에 해당되었다. 인지적 과실에 의한 사고가 FAR Part 121의 경우가 FAR Part 135의 경우 보다 더 높게 나타났으나 사례의 수가 너무 적어서 운용형태나 년도 별로 의미 있는 비교를 할 수는 없었다.

□ 불안정한 행위(Unsafe Acts)를 위한 전제조건(Precondition)

전제조건 단계(Precondition Level)에서 CRM의 태만이 사고의 많은 부분을 차지하고 있다. 승무원 관련사고 중 약 29.4%가 이러한 CRM의 태만으로부터 비롯되었다. FAR Part 121에 적용을 받는 정기항공사의 인적요인 사고에 원인이 된 CRM의 태만이 (40.9%)로 FAR Part 135의 인적요인 관련 사고(22.7%) 보다 더 높게 나타났다. 그러나 CRM 태만과 관련된 사고의 비율은 FAR Part 121과 FAR Part 135의 2가지 모두에서 지난 7년간 비교적 일정한 비율을 유지하고 있다.

그 다음으로 많은 사고로는 해로운 정신 상태(Adverse Mental States)가 13.4%였고, 그 다음이 신체적/정신적 한계 (Physical/Mental Limits)가 10.9% 그리고 해로운 생리학 상태(Adverse Physiological States, 1.7%)였다. 개인의 준비 문제(Personal Readiness Issues)에 관련된 사고는 발견되지 않았다.

□ 감독 그리고 조직의 요소들(Supervisory and Organizational Factors)

승무원과 관련되어 있는 NTSB의 보고서에 감독 그리고 조직의 요소들로 인한 실패(Failure)가 원인이 된 사고는 매우 적게 발견되었다. 실제 승무원과 관련된 사고(Crew-Related Accidents)의 16%만이 이러한 감독 및 조직의 요소들에 포함되었다. FAR Part 135에 적용을 받는 경우, 감독상의 오류는 9.3%였고 FAR Part 121에 적용을 받는 경우는 2.3%로 나타나 Part 135의 경우가 좀 더 높은 것으로 나타났다. 이와 반대로 조직의 요소에 의한 승무원 관련사고는 FAR Part 121에서 20.5%, FAR Part 135에서 4.0%로 FAR Part 121에 적용을 받는 정기항공사의 사고율이 더 높게 나타났다.

2.3.2 단일 사고에의 적용

1) 분석방법

본 연구에서는 국내 항공기사고조사 최종보고서가 발행된 단일 사고를 사례로 사고조사보고서의 내용 중 인적요인과 관련이 있는 내용을 HFACS를 이용하여 분석하여 그 적용 가능성을 판단해 보았다. 분석에 사용한 항공기 사고사례는 국내 '가'항공사의 화물기 사고사례로 오류에 대한 단순분류를 한 후 그 분류내용에 대해 다시 세부 검토를 하여 주요 사고유발요인이 무엇인지 분류하는 방법으로 분석을 수행하였다. 사고의 구체적 자료는 해당항공사의 요구에 의해 본 연구에서는 구체적으로 기술하지 않기로 하였다[6].

분석의 범위는 사고조사보고서의 '발견된 사실'과 '추정원인' 부분에서 제시되고 있는 오류로 제한하였고 '발견된 사실' 및 '추정원인'에 의해 제시된 인적오류는 3가지 단계로 분류되었다. 첫 번째 단계는 대범주와 하위범주를 결정하고 두 번째 단계는 그 행위가 오류(Errors)에 속하는지 위반(Violations)에 속하는 지를 결정하고 행위가 오류에 속하는 것으로 분석된 경우 다시 그 오류가 어떠한 성격의 오류인지를 분류하였다. 또한 오류에 직간접적으로 영향을 줄 수 있는 외부의 영향을 분류하여 사고유발요인에 어떻게 작용하였는지를 분석하였다.

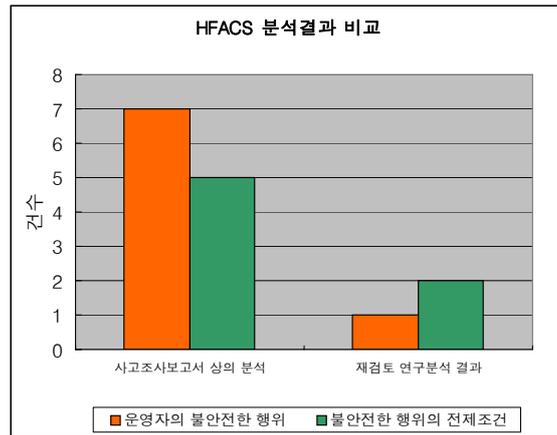
또한 사고기에서 추출한 CVR의 내용을 분석하여 오류에 속하는 요인을 찾아내어 이를 HFACS를 이용하여 분류하였다. 해당 사고는 FDR의 파손으로 CVR의 자료가 사고원인 규명에 중대한 역할을 할 수 있으므로 이에 대한 다양한 분석을 수행하였다.

2) 분석결과

기존 사고조사보고서에 제시된 '발견된 사실'과 '추정원인'에서 확인된 인적오류는 15건으로 분류되었고, 이 중 추정원인 3건은 발견된 사실과 중복되어 제외하고 12건을 HFACS 분류체계에 따라 분석한 결과 운영자의 불안정한 행위에 속하는 오류가 7건, 불안정한 행위의 전제조건에 속하는 오류가 5건으로 분류되었다. 그러나 CVR의 자료를 근거로 인지심리학적 분석과 음성심리학적 분석, 시스템분석 등을 수행한 결과 최종보고서와 상이한 견해가 도출되어 사고요인의 규명에 심각한 왜곡을 가져올 수 있

는 사고조사보고서상의 내용을 제외하고 HFACS 분류체계에 따라 새로이 재분석한 결과, 운영자의 불안정한 행위에 속하는 오류는 1건, 외부의 영향에 해당하는 불안정한 행위의 전제조건으로 분류되는 오류는 2건으로 분석되었다<표 2>.

<표 2> HFACS 분석결과 비교



CVR에 기록된 내용에서 확인된 비정상적인 상태는 20건(Event)으로, 중복되어 나타나는 경우도 발견되었으나 Event Time Line 상에서 각각의 오류로 처리하였으며 사고의 원인을 유발한 오류가 시스템에 관계된(System-Related) 것인지 혹은 사람과 관계된(Person-Related) 것인지를 분류할 필요가 있다[7]. 일반적으로 시스템에 관계된(System Related) 원인은 외부의 원인(External Cause)으로 발생하는 경우가 대부분이며 사람과 관계된(Person-Related) 원인은 내부의 원인(Internal Cause)에 기인하는 경우가 일반적이다. 분석한 사고의 경우 대부분 시스템과 관련된 원인으로 밝혀졌다.

본 연구에서 수행한 단일 사고의 HFACS 분석의 결과 분석체계로의 적용에 문제점이 발견되지 않았다. 특히 분석의 결과가 기존사고조사보고서의 분석결과와 매우 상이하다는 점은 많은 점을 시사한다고 볼 수 있다. 즉, 인적오류의 분류를 중심으로 한 HFACS 분석이 항공기의 기계적 결함이나 절차상의 오류를 중심으로 분석하는 기존 분석 체계와 다른 차원의 분석을 가능하게 하고 이에 따라 상이한 결론을 도출할 수 있다는 점이다.

3. 결론

군에서 개발된 HFACS 체계가 사업용 항공 사고들과 관련한 근원적인 인적요인 문제들을 분석하는 데 사용될 수 있는지의 여부와 단일 사례에 적용할 수 있는지를 NTSB의 자료와 국내 단일 항공기사고 사례를 이용하여 분석하였다.

HFACS는 분석적이기 보다 서술적이라는(Descriptive, not analytical) 지적이 있었다 [8]. 이는 하위 분류체계 내의 요인항목의 정의가 명확하지 않다는 의미로서 자의적 해석에 대한 우려로 판단된다. 그러나 본 연구에서 수행한 2가지 분석 과정에서 정의의 모호함에 의한 분석의 어려움은 발견되지 않았다.

HFACS는 대용량의 DB를 근거로 한 분석에 의해 유도된 개입전략을 사고의 재발 방지를 위한 환류체계(Feed Back System)의 근거로 유용하게 사용할 수 있으며 사고 원인의 발생 경향 등을 파악하는 주요한 자료로 활용될 수 있다고 판단된다.

특히 인적요인의 분석을 중심으로 설계된 HFACS는 보다 진보된 항공 안전 프로그램을 구축하기 위한 토대를 제공할 수 있을 것으로 예상된다. 궁극적으로, HFACS는 개입 프로그램의 객관적인 평가와 미래의 사고 데이터베이스를 개발하기 위한 도구로서 매우 유용하게 이용될 수 있으리라 판단되며 인적요소 사고 데이터의 질과 접근성을 향상시킬 수 있을 것이다.

4. 참 고 문 헌

- [1] Douglas A Wiegmann, " A Human Error Approach to Aviation Accident Analysis", Ashgate, 2003, pp.10-12
- [2] Douglas A Wiegmann, "Applications of Human Factors Analysis and Classification System to the Analysis of Aviation Accident Data", 11th International Symposium on Aviation Psychology, 2001
- [3] National Transportation Safety Board, "Aviation Accident Statistics", 2000
- [4] Reason J., " Human Error" Cambridge University Press, 1990.
- [5] 한경근 외 2명, "대한항공○○편 사고요인 분석 연구", 2004
- [6] M. Pedrali(1995), "A Methodological Framework for Root Cause Analysis of Human Errors", Ashgate, 1995
- [7] ICAO, "ICAO Human Factors Accident Investigation Manual", ICAO, 1993
- [8] ICAO, Annex 13, Aircraft Accident and Incident Investigation, ICAO, 2001