

# 제조업의 인적오류 관련 사고분석을 위한 HFACS-K의 개발 및 사례연구

임재근\*† · 최종덕\*\* · 강태원\*\*\* · 김병철\*\*\* · 함동한\*\*\*\*

## HFACS-K: A Method for Analyzing Human Error-Related Accidents in Manufacturing Systems: Development and Case Study

Jae Geun Lim\*† · Joung Dock Choi\*\* · Tae Won Kang\*\*\* · Byung Chul Kim\*\*\* · Dong-Han Ham\*\*\*\*

### †Corresponding Author

Jae Geun Lim

Tel : +82-70-4276-0947

E-mail : taru@safety.or.kr

Received : June 1, 2020

Revised : July 27, 2020

Accepted : August 21, 2020

**Abstract** : As Korean government and safety-related organizations make continuous efforts to reduce the number of industrial accidents, accident rate has steadily declined since 2010, thereby recording 0.48% in 2017. However, the number of fatalities due to industrial accidents was 1,987 in 2017, which means that more efforts should be made to reduce the number of industrial accidents. As an essential activity for enhancing the system safety, accident analysis can be effectively used for reducing the number of industrial accidents. Accident analysis aims to understand the process of an accident scenario and to identify the plausible causes of the accident. Accident analysis offers useful information for developing measures for preventing the recurrence of an accident or its similar accidents. However, it seems that the current practice of accident analysis in Korean manufacturing companies takes a simplistic accident model, which is based on a linear and deterministic cause-effect relation. Considering the actual complexities underlying accidents, this would be problematic; it could be more significant in the case of human error-related accidents. Accordingly, it is necessary to use a more elaborated accident model for addressing the complexity and nature of human-error related accidents more systematically. Regarding this, HFACS(Human Factors Analysis and Classification System) can be a viable accident analysis method. It is based on the Swiss cheese model and offers a range of causal factors of a human error-related accident, some of which can be judged as the plausible causes of an accident. HFACS has been widely used in several work domains(e.g. aviation and rail industry) and can be effectively used in Korean industries. However, as HFACS was originally developed in aviation industry, the taxonomy of causal factors may not be easily applied to accidents in Korean industries, particularly manufacturing companies. In addition, the typical characteristics of Korean industries need to be reflected as well. With this issue in mind, we developed HFACS-K as a method for analyzing accidents happening in Korean industries. This paper reports the process of developing HFACS-K, the structure and contents of HFACS-K, and a case study for demonstrating its usefulness.

**Key Words** : HFACS, HFACS-K, accident analysis, accident investigation, human error

Copyright©2020 by The Korean Society of Safety All right reserved.

## 1. 서론

산업안전보건법에서는 산업재해로 인해 사망자가 발생하거나 3일 이상의 휴업이 필요한 부상을 입거나

질병에 걸린 사람이 발생하는 경우 산업재해 조사표에 따른 사고조사를 수행하고 이를 지방고용노동관서에 제출하도록 하고 있다<sup>1)</sup>. 그러나 그 양식이 매우 간단하여 사고조사도 미흡하며 재발방지를 위한 대책 또한

\*송실대학교 재난안전관리학과 박사과정 (Department of Disaster Safety Management, Soong-sil University)

\*\* (사)대한산업안전협회 본부장(Korea Industrial Safety Association)

\*\*\* (사)대한산업안전협회 부장(Korea Industrial Safety Association)

\*\*\*\* 전남대학교 산업공학과 교수(Department of Industrial Engineering, Chonnam National University)

형식적인 내용으로 채워지고 있다. 사고의 예방을 위해서는 보다 근본적인 원인 분석이 필요하며 재발을 방지하기 위해서는 대책 또한 근원적 대책에 접근하여야 한다.

현재 우리나라 산업재해를 조사하는 주요 기법으로는 3E(Education, Enforcement, Engineering) 기법과 4M (Machine, Man, Media, Management) 기법을 들 수 있다. 3E 기법은 교육적, 관리적, 기술적 측면에서 사고를 분석하는 방식이며, 4M 기법은 인간공학적 접근방식으로 인적인 요소, 기계설비적인 요소, 작업적인 요소, 관리적인 요소 등 4가지 측면에서 사고 원인을 분석하고 그에 따른 개선대책을 찾는 방법이다<sup>2)</sup>. 그러나 이러한 기법들의 가장 큰 한계는 조사자의 숙련도에 따라 원인과 대책의 수준 차이가 발생할 수 있다는 점이다. 물론 여러 명의 관계자들이 참여하는 공동조사 시에는 다양한 사고원인과 대책이 도출될 수 있으나 우리나라의 산업현장의 현실에 있어 다수의 참여는 매우 어렵다. 따라서 조사자의 숙련도나 사고가 발생한 작업 내용에 대한 깊은 지식이 없더라도 명확한 사고원인과 재발방지대책을 수립할 수 있는 보편타당한 사고조사 기법이 필요하며 이에 HFACS-K를 개발하게 되었다<sup>3)</sup>.

## 2. HFACS-K 기법의 개발

HFACS-K는 1990년 Reason의 스위스 치즈모델을 기반으로 잠재적 및 능동적 실패 개념을 바탕으로 인간의 불안정한 행동, 불안정한 행동의 전제조건, 불안정한 감독, 조직 영향 등 4가지 수준의 실패를 바탕으로 사고발생을 설명한 HFACS(The Human Factors Analysis and Classification System)을 차용하고 있다<sup>4,5,6)</sup>. 그러나 항공기 사고조사를 위한 HFACS를 그대로 우리나라 산업현장에 접목하여 산업재해가 발생되었을 때 사고조사 기법으로 활용하기에는 그 활용에 한계가 있다. 이에 사고발생의 근본원인으로 인적요인을 기반으로 한 사항은 HFACS의 4가지 관점에 맞춰 사고조사를 하되, 그 조사 방식은 HSE에서 제시한 인터뷰와 체크리스트 방식을 차용하여 우리나라 산업현장에 쉽게 활용할 수 있도록 하였다<sup>7,8)</sup>.

### 2.1. HFACS-K의 개발 과정 및 HFACS와의 차이

HFACS-K는 2018년부터 시작된 대한산업안전협회 리질리언스 연구회에서 개발되었다. 전남대학교 산업공학과 합동한 교수와 대한산업안전협회 교육, 안전검사, 안전진단, 화학컨설팅 소속 인원 4명 등 총 5명으로 구성된 리질리언스 연구회는 사고조사 기법의 해

외사례를 연구하는 과정에서 HSE, HFACS, HEAR, 액티비티 이론 기반의 사고분석 기법, FRAM 사고조사 모델 등을 연구하였으며 Safety-I의 관점에서 HSE의 설문조사 기법과 인적사고분석의 대표적인 HFACS 기법을 결합하여 우리나라 산업계 현황에 맞게 체크리스트를 기반으로 한 사고조사 기법을 개발하였다<sup>3)</sup>. 기존 HFACS 기법과 HFACS-K의 가장 큰 차이점은 4가지 Factor에서의 사고조사를 하되 조사목록 체크리스트를 활용함으로써 사고조사를 수행하는 주체의 숙련여부와 관계없이 명확한 사고조사를 수행할 수 있다는 장점을 가지고 있다<sup>9)</sup>.

### 2.2. HFACS-K의 구성요소

HFACS-K는 명칭에서 알 수 있듯이 HFACS 사고조사 기법을 기반으로 한다. HFACS는 스위스 치즈모델에서 4가지 Factor에서의 결합이 모두 일치할 때 사고가 발생된다고 전제한다. HFACS에서 제기한 조직의 영향, 불안정한 감독, 불안정한 행동 전제조건, 불안정한 행동이 발생되었을 때 사고가 발생됨을 전제하며 4가지 Factor의 설명은 다음과 같다<sup>10,11)</sup>.

#### 2.2.1. 불안정한 행동

##### (1) 오류

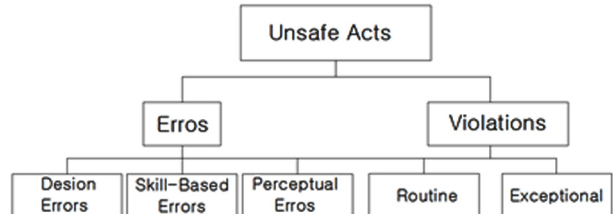


Fig. 1. Categories of unsafe acts.

##### ① 숙련 기반 오류

숙련기반 행동은 모든 작업공정에서 나타나는 기술적 행동이다. 그러나 이러한 기술기반 행동들은 주의력 상실, 기억 유지 실패를 할 때에는 매우 취약하다. 시각적 착각이나 잘못된 판단, 작업 실수 등으로 올라

Table 1. Insecure behavior (skill-based error) checklist

◎ Insecure behavior (skill-based error) checklist	
NO	Checklist
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Did you fail to pay attention to your work, and have you made a mistake? (What is the cause?)</li> <li>•</li> <li>•</li> <li>•</li> </ul>
12	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Are the rules, regulations, guidelines and procedures items omitted or omitted?</li> </ul>

른 작업을 유지하지 못하고 원하지 않은 결과를 발생시킨다. 이러한 잘못된 오류들은 기술적 기반 오류와 관련이 있다(Fig. 1)<sup>12)</sup>. 이러한 숙련기반의 오류를 조사하기 위한 체크리스트는 Table 1과 같다<sup>3,7,10)</sup>.

② 의사 결정 오류

의사 결정이라 함은 상황에서 부적절하거나 부적절한 것으로 판단하여 작업자가 의도했던 대로 의도적으로 행동하기로 결정하고 행동을 하는 것이다. 여기서 의사 결정한 행동이 적절했다면 올바른 의사 결정을 했기 때문에 아무런 문제가 발생하지 않는다. 오히려 부적절한 상황이 적절한 상황으로 교정된다. 이러한 의사결정 오류를 조사하기 위한 체크리스트는 Table 2와 같다<sup>3,7,10)</sup>.

Table 2. Insecure behavior (decision making errors) checklist

◎ Insecure behavior (decision making errors) checklist	
NO	Checklist
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Did you recognize the emergency?</li> <li>•</li> <li>•</li> </ul>
7	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Was the work performed in a safe manner according to the method agreed with the stakeholders?</li> </ul>

③ 지각 오류(Perceptual Errors)

예기치 않은 상황에서 인식하고 있는 상황과 현실에서의 상황이 다를 때 오류는 발생할 가능성이 높다. 특히 시각적 착시와 공간적 방향 감각 상실, 고도나 속도, 태도를 잘못 판단할 때 사람의 감각 기능이 비정상적으로 작용하면서 지각 오류가 발생한다. 지각 오류에서 시각적 착각은 야간이나 악천후에서 자주 나타나는데 시각적으로 들어오는 정보가 부족하여 사람의 뇌가 부족한 부분을 메우려 할 때 자주 발생 한다. 마찬가지로, 공간적 방향 감각 상실도 야간이나 악천후에서 시각적 신호를 감지하지 못할 때 발생한다. 이러한 지각 오류를 조사하기 위한 체크리스트는 Table 3과 같다<sup>3,7,10)</sup>.

Table 3. Insecure behavior (perception error) checklist

◎ Insecure behavior (perception error) checklist	
NO	Checklist
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Did you respond incorrectly with a visual illusion?</li> <li>•</li> <li>•</li> <li>•</li> </ul>
9	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ What are the mistakes of other workers?</li> </ul>

(2) 위반

일반적인 대부분의 사고에서 제정된 규정이나 규칙의 범위 내에 잘못된 오류가 발생한다. 그에 반해, 위반은 불안정한 행동을 규제하는 규칙과 규정을 고의적으로 지키지 않는 경우 자주 발생하는 경향이 있다. 위반 유형으로는 많은 유형이 있지만 사고 원인으로 볼 때 두 가지의 형태로 볼 수 있다<sup>3,7)</sup>.

Table 4. Examples of unsafe behavior

Violation	Example
Normal Violation	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Failure to keep simple notices</li> <li>- Unauthorized access to restricted areas</li> <li>- Violation of the rules for education</li> <li>- Failure to perform safety check before starting work</li> <li>- Doing unauthorized work for a while</li> </ul>
Exceptional Violation	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Driving like a heavy forklift</li> <li>- Ineligibility for work</li> <li>- Intentional safety standards exceeded (violation)</li> <li>- Work after safety device removal</li> <li>- Perform unauthorized work</li> </ul>

첫 번째 위반은 통상적인 위반으로 습관적으로 순서나 방법을 위반하는 경우로 위반이 용인되는지는 위반을 말한다. 예를 들면, 고속도로에서 규정 속도를 10% 범위 내에서 초과 과속했다면 과태료가 부과되지 않는 것과 같이 허용 가능한 범위 내에서의 위반을 말한다. 이러한 통상적 위반을 조사하기 위한 체크리스트는 Table 5와 같다<sup>3,7,10)</sup>.

Table 5. Insecure behavior (normal violation) checklist

◎ Insecure behavior (normal violation) checklist	
NO	Checklist
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Has the safety work procedure been followed?</li> <li>•</li> <li>•</li> </ul>
14	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Have you made other acceptable violations? (what : )</li> </ul>

반면 예외적인 위반으로 첫 번째와 같이 규정을 위반하지만 많은 사람들의 행동 패턴에서 벗어난 행동으로 경영진이 용인하지 않는 위반이다. 즉, 개인이 기준을 이탈하는 행위를 예외적인 위반이라 한다<sup>13,14)</sup>.

예를 들어, 50 km 제한 구역에서 주행 속도가 100 km라면 이는 예외적인 위반이다. 마찬가지로 프레스 작업 중에 광전자센서를 제거하고 작업, 철골 골조 작업에서 골조 위를 안전대를 착용하지 않고 곡예사처럼 걸어 다니는 작업 또한 예외적인 위반이 된다. 이러한 예외적 위반을 조사하기 위한 체크리스트는 Table 6와 같다<sup>3,7,10)</sup>.

Table 6. Insecure behavior (exceptional violation) checklist

◎ Insecure behavior (exceptional violation) checklist	
NO	Checklist
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Have you attempted unauthorized access to the restricted area?</li> <li>•</li> <li>•</li> </ul>
12	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ What are some other fatal violations?</li> </ul>

2.2.2. 불안전행동의 전제조건

안전하지 않은 행위에 대한 전제 조건은 환경 요인, 작업자 불안전조건, 작업자 불안전관행 요인의 세 가지 범주로 나뉘며 이 세 범주는 하위 범주로 나뉜다 (Fig. 2). 환경적 요소는 개인의 실습, 조건 및 행동에 영향을 미치는 신체적, 기술적 요인을 말하며 사람의 실수나 안전하지 않은 상황을 초래한다<sup>15)</sup>. 작업자의 상태는 불안정한 정신 상태, 불안정한 생리적(건강) 상태 및 개인의 작업, 상태 또는 행동에 영향을 미치고 인간의 실수 또는 안전하지 않은 상황을 초래하는 신체적 / 정신적 제한 요인을 나타낸다. 작업자 불안전관행은 근로자의 자원 관리 또는 팀 자원 관리 및 개인의 실행, 조건 또는 행동에 영향을 미치는 개인 준비성 요소를 말하며, 이로 인해 사람의 실수 또는 안전하지 않은 상황이 발생한다<sup>3,5,7,10)</sup>.

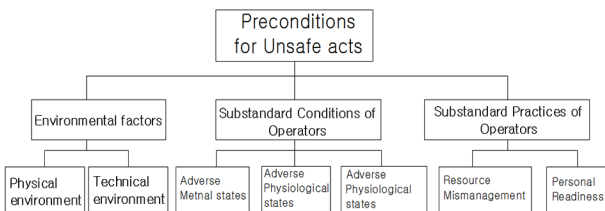


Fig. 2. Categories of preconditions of unsafe acts.

(1) 환경 요인

작업자의 불안전행동을 유발할 수 있는 전제조건 중 환경적 요인은 크게 물리적 환경 요인과 기술적 환경 요인으로 구분할 수 있다. 물리적 환경의 예는 자연재해(태풍, 폭설, 지진) 또는 그 날의 일기(바람, 비, 눈) 등을 들 수 있으며, 또한 작업장 환경적 요소로서 난방, 조명, 밀폐공간작업, 인화성 증기 흡의 발생, 독성 물질 사용에 따른 독성흡입 등이 될 수 있다<sup>4,16)</sup>.

① 물리적 환경

작동 설정 (예 : 날씨, 고도, 지형)과 주변 환경 (예 : 열, 진동, 조명, 독소)을 모두 포함하는 요소를 나타낸다. 이러한 물리적 환경을 조사하기 위한 체크리스트는 Table 7과 같다<sup>3,7,10)</sup>.

Table 7. Checklist for physical anomalies in the workplace

◎ Checklist for physical anomalies in the workplace	
NO	Checklist
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ For external work, was the weather (wind, rain, heat, snow, cold) appropriate and was there no risk?</li> <li>•</li> <li>•</li> </ul>
13	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Has the safety manager (supervisor) provided adequate information about access and the hazardous area?</li> </ul>

② 기술 환경

장비 및 제어 설계, 디스플레이 / 인터페이스 특성, 검사 목록 레이아웃, 작업 요소 및 자동화를 포함한 다양한 설계 및 자동화 문제를 포함한다. 이러한 기술적 환경 이상 유무를 조사하기 위한 체크리스트는 Table 8과 같다<sup>3,7,10)</sup>.

Table 8. Checklist for checking the technical environment

◎ Checklist for checking the technical environment	
NO	Checklist
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Did you use the most suitable plant and equipment for the job?</li> <li>•</li> <li>•</li> </ul>
18	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Did the worker wear and wear the personal protection provided correctly?</li> </ul>

(2) 작업자 불안전 조건

작업공간에서 작업자가 작업 시 작업자의 불안전 조건이 사고로 연결되는 경우가 많다. 특히 정신적 피로 또는 작업 지식의 결여(안전수칙에 대한 교육 결여), 경험의 부족(미숙련), 수면부족에 따른 집중력의 결여 등이 사고로 연결될 수 있다<sup>17)</sup>.

① 불안정한 정신 상태 (Adverse Mental State)

작업자의 주의 결핍(예 : 스트레스, 정신적 피로, 동기

Table 9. Checklist to check for any unstable mental condition

◎ Checklist to check for any unstable mental condition	
NO	Checklist
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Has the worker been trained and trained for the job?</li> <li>- Physical and emotional (special consideration is given to new recruits or inexperienced persons)</li> <li>- Experience (work experience, know-how, knowledge)</li> <li>•</li> <li>•</li> </ul>
6	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Was the worker on excessive alcohol or medication (therapeutic medication) the day before?</li> </ul>

부여)에 영향을 미치는 정신 상태를 포함하는 요인을 참조할 수 있다. 이러한 불안정한 정신상태의 이상 유무를 조사하기 위한 체크리스트는 Table 9와 같다<sup>3,7,10</sup>.

② 불안정한 건강 상태

수행에 영향을 미치는 의학적 또는 생리 조건(예 : 의학적 질병, 신체적 피로, 저산소증)을 포함하는 요인을 지칭한다. 이러한 불안정한 건강상태 이상 유무를 조사하기 위한 체크리스트는 Table 10과 같다<sup>3,7,10</sup>.

Table 10. Checklist to check for any abnormal health conditions

◎ Checklist to check for any abnormal health conditions	
NO	Checklist
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Were you monitoring the health of workers who could affect your work?</li> <li>•</li> <li>•</li> </ul>
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Did you train workers on health and safety?                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Education for new employment</li> <li>- Training when work details change</li> <li>- Training as part of regular training</li> </ul> </li> </ul>

③ 신체적 / 정신적 장애

작업자가 상황에 대처할 수 있는 신체적 또는 정신적 능력이 결여되어 성능이 영향을 받는 경우 (시각적 한계, 불충분 한 반응 시간)를 나타낸다. 이러한 신체적/정신적 장애 이상 유무를 조사하기 위한 체크리스트는 Table 11과 같다<sup>3,7,10</sup>.

Table 11. Checklist to check for abnormalities in physical and mental disorders

◎ Checklist to check for abnormalities in physical and mental disorders	
NO	Checklist
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Did the worker have physical disabilities that could affect the work? (Visual impairment, hearing impairment, sense of smell, taste disorders, and other physical disabilities)</li> </ul>
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Has there been an intellectual disability to the extent that the worker's intellectual ability understands the working method and lacks the ability to understand the work safety rules?</li> </ul>

(3) 작업자 불안전 관행

작업자 채용 시 작업에 적합한 경력을 갖추고 있거나 충분한 경험이 있는지가 중요하다. 특히 재해에 취약한 계층인 고령근로자 및 신규채용자에 대한 작업의 전환 배치 등을 할 경우 여러 사항을 고려해야 한다<sup>10</sup>.

① 인적요소 관리

Human Resource Management : 의사소통, 조정, 계획

Table 12. Checklist to check if there is an abnormality in human factor management

◎ Checklist to check if there is an abnormality in human factor management	
NO	Checklist
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Did the worker's competency level meet the required level of work?</li> <li>•</li> <li>•</li> </ul>
9	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Have there been procedures for supervision of contract work?</li> </ul>

및 팀워크 문제를 포함하는 요인을 고려하여야 한다. 이러한 인적요소 관리의 이상 유무를 조사하기 위한 체크리스트는 Table 12와 같다<sup>3,7,10</sup>.

② 개인적 준비

작업자 휴식 요건, 음주 제한 및 기타 근무 외 임무를 수행하는 것과 같이 직장에서 최적으로 수행해야 하는 의무 외 활동을 나타낸다. 이러한 작업전 개인적 준비 이상 유무를 조사하기 위한 체크리스트는 Table 13과 같다<sup>3,7,10</sup>.

Table 13. Checklist to check if personal preparation is abnormal

◎ Checklist to check if personal preparation is abnormal	
NO	Checklist
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Did the worker have sufficient knowledge of the work?</li> <li>•</li> <li>•</li> </ul>
7	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Was the worker in a mental conflict with another colleague or individual?</li> </ul>

2.2.3. 불안정한 감독(Unsafe Supervision)

불안정한 감독(Unsafe Supervision)의 4가지의 범주는 부적절한 감독(Inadequate Supervision), 계획되지 않은 부적절한 작업(Planned Inappropriate), 문제해결 미 이행(Failed to Correct a known Problem), 감독의 위반(Supervisory Violation)이 있으며 각각은 아래에서 간단히 설명된다(Fig. 3)<sup>10</sup>.

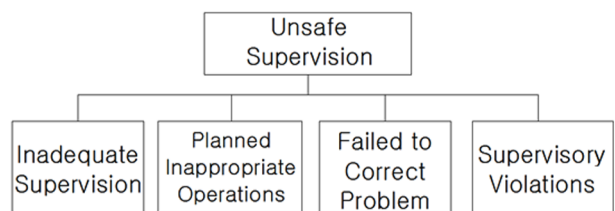


Fig. 3. Categories of unsafe supervision.

(1) 부적절한 감독(Inadequate Supervision)

감독자의 역할은 작업자가 위험에 처하지 않고 안전하게 작업을 할 수 있게 다양한 기회를 제공하는 것이다. 이를 수행하기 위해 감독자는 작업계획서 작성, 교육 및 훈련의 기회제공 등을 수행 하여야 하지만 그렇지 않는 경우 부적절한 감독이라고 볼 수 있다. 이러한 부적절한 감독의 이상 유무를 조사하기 위한 체크리스트는 Table 14와 같다<sup>3,7,10</sup>.

Table 14. Improper supervisor's checklist

◎ Improper supervisor's checklist	
NO	Checklist
1	Are there safety work plans (guidelines or procedures) for the work? <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Is the safety work plan (instruction or procedure) current?</li> <li>■ Is the safety work plan (instruction or procedure) error-free, realistic, accurate and appropriate?</li> <li>■ Do the safety work plans (guidelines or procedures) reflect the risk situation?</li> <li>■ Is the safety work plan (instruction or procedure) available to the worker performing the work or is it readily available?</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>•</li> <li>•</li> <li>•</li> </ul>
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Are work supervisors, monitors, inductors, and supervisors assigned to prevent worker risks during abnormal work?</li> </ul>

(2) 부적절한 작업계획(Planned Inappropriate Operations)

부적절한 작업계획은 계획되지 않은 부적절한 조작으로서 감독자가 작업계획 시 작업에 대한 위험성평가를 않거나 작업자에게 부적절한 휴식제공 및 무리한 작업지시를 하는 경우에 해당한다. 이러한 부적절한 작업계획의 이상 유무를 조사하기 위한 체크리스트는 Table 15와 같다<sup>3,7,10</sup>.

Table 15. Checklist for improper work plans

◎ Checklist for improper work plans	
NO	Checklist
1	Did you perform a risk assessment for the work?
	<ul style="list-style-type: none"> <li>•</li> <li>•</li> <li>•</li> </ul>
9	■ Did you order work that violates rules or regulations?

(3) 문제해결 미 이행(Failed to Correct a known Problem)

문제해결 미이행은 인지된 문제를 해결하지 못한(Failure to Correct Problem) 즉, 불안정한 상황을 인지했음에도 불구하고 시정조치를 취하지 못하는 행위, 오류가 있는 문서를 수정하지 못하는 행위, 불안정한 상황에 대하여 보고하지 않는 경우이다. 이러한 문제해결 미이행을 조사하기 위한 체크리스트는 Table 16

와 같다. 이러한 문제해결 미이행 이상 유무를 조사하기 위한 체크리스트는 Table 16과 같다<sup>3,7,10</sup>.

Table 16. Checklist for non-implementation of problem solving

◎ Checklist for non-implementation of problem solving	
NO	Checklist
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Have you revised errors in recognized safety work plans (guidelines or procedures)?</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>•</li> <li>•</li> <li>•</li> </ul>
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Have you reported any perceived insecure situations?</li> </ul>

(4) 감독위반(Supervisory Violations)

감독의 위반은 기존의 규칙과 규정이 감독자에 의해 고의적으로 무시 될 때, 규칙 및 규정을 준수하지 않을 때, 관리감독자의 자격미달자 및 미 자격자가 존재할 때, 또한 기존의 규칙과 규정을 시행하지 않거나 권위를 과시하는 것이 감독의 위반이라고 볼 수 있다. 이러한 감독위반 이상 유무를 조사하기 위한 체크리스트는 Table 17과 같다<sup>3,7,10</sup>.

Table 17. Checklist for non-implementation of problem solving

◎ Checklist for non-implementation of problem solving	
NO	Checklist
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Have you tolerated matters that violate regulations such as work plans, laws, guidelines, and procedures?</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>•</li> <li>•</li> <li>•</li> </ul>
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Did the supervisor show his authority and fulfill his duties?</li> </ul>

2.2.4. 조직영향

상위 수준의 경영진의 잘못된 결정은 운영자의 조건과 행동뿐만 아니라 감독 관행에도 직접적으로 영향을 미친다. 안타깝게도 이러한 조직적 오류는 안전 전문가가 종종 알아채지 못한다. 그 원인은 조사 대상의 명확한 틀이 부족하기 때문이다. 일반적으로 감정적 실패의 가장 어려운 부분은 자원 관리, 조직 환경 및 운영 프로세스와 관련된 문제를 중심으로 이루어진다(Fig. 4)<sup>10</sup>.

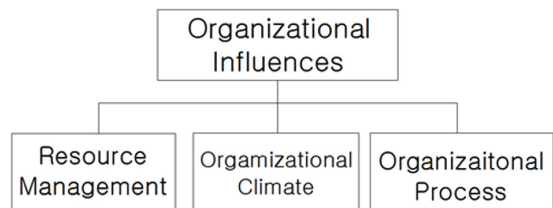


Fig. 4. Organizational factors influencing accidents.

(1) 자원 관리

이 범주는 인적 자원 (인력), 화폐 자산 및 설비 / 시설과 같은 조직 자산의 할당 및 유지 관리와 관련한 기업 차원의 의사 결정 영역을 포함한다. 이러한 자원관리의 이상 유무를 조사하기 위한 체크리스트는 Table 18과 같다<sup>3,7,10</sup>.

Table 18. Checklist for resource management anomalies

◎ Checklist for resource management anomalies	
NO	Checklist
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Is there a suitable education / training plan for work?</li> <li>•</li> <li>•</li> <li>•</li> </ul>
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Are workplaces and equipment arrangements designed for health and safety?</li> </ul>

(2) 조직 환경

조직 환경은 근로자 성과에 영향을 미치는 광범위한 종류의 조직 변수를 의미한다. 조직의 환경에 대한 하나의 간판은 사슬 체인 (chain-of-command), 권위와 책임 위임, 의사소통 채널 및 행동에 대한 공식적인 책임에 반영된 구조이다. 이러한 조직 환경의 이상 유무를 조사하기 위한 체크리스트는 Table 19와 같다<sup>3,7,10</sup>.

Table 19. Checklist for abnormalities in organizational environment

◎ Checklist for abnormalities in organizational environment	
NO	Checklist
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Are enough people appointed to support safety and health activities?</li> <li>•</li> <li>•</li> <li>•</li> </ul>
13	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Are employees involved in safety-related decisions and activities?</li> </ul>

(3) 조직 프로세스

이 범주는 표준화 된 운영 절차의 수립 및 사용, 인력과 경영진 간의 견제 및 균형 유지(감독)를 위한 공식적인 방법을 포함하여 조직 내의 일상 활동을 관찰

Table 20. Checklist to check whether the organization process is abnormal

◎ Checklist to check whether the organization process is abnormal	
NO	Checklist
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Do you have an adequate reporting system to report defects in the workplace and equipment?</li> <li>•</li> <li>•</li> <li>•</li> </ul>
7	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Are safety and health activities measured and monitored?</li> </ul>

하는 기업의 의사 결정 및 규칙을 의미한다. 예를 들어, 운영 템포, 시간 압박, 인센티브 시스템 및 근무 일정과 같은 요소는 모두 안전에 나쁜 영향을 미칠 수 있는 요소이다. 이러한 조직프로세스의 이상 유무를 조사하기 위한 체크리스트는 Table 20과 같다<sup>3,7,10</sup>.

3. 사례연구

HFACS-K를 활용하여 기존 산업재해 조사표에 따른 사고조사 및 재발방지대책과의 비교를 통해 HFACS-K의 활용 시 산업재해 예방에 활용방법을 제시하였다.

3.1. 사고개요

2018년 8월에 테이프 접착제를 제조하는 OO공장 조제공정에서 화재폭발사고가 발생하였다. 폭발사고 원인은 교반탱크에 솔벤트(인화점, -21도)를 공급한 후에 2차 원료 석유수지를 교반기에 넣기 위해 팔레트에 적재된 석유지원료를 전동 지게차를 이용하여 원료를 2층 교반장소로 올리는 도중 지게차 하부쪽에서 발생한 스파크가 잔여 유증기와 반응하면서 발생하였다.

3.2. 산업재해 조사표를 통한 분석 사례

산업안전보건법 제4조에 따라 산업재해조사표에 따라 사고원인과 사고재발방지 대책은 다음과 같다.

재해원인	재발방지 대책
솔벤트 공급 후 유증기가 바닥면에 체류한 상태 등 폭발위험장소에서의 비방폭형 전동식 지게차의 전일부에서 스파크 등 점화원에 의한 화재폭발사고 발생	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 기술적 대책                             <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 폭발위험장소 내 가스감지기 설치                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 단기적 대책 : 작업전, 작업중(2시간 마다), 작업 개시 전 휴대용 가스/농도측정</li> <li>- 중기적 대책 : 가스감지기 설치 및 외부 경보기, 농도표시기 설치</li> </ul> </li> <li>2. 정전기 방지패드 설치</li> <li>3. 폭발위험장소 내 지게차 출입금지</li> <li>4. 안전운전절차서 상 화재, 폭발사고 세부 예방조치 추가 및 교육실시                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 폭발위험장소에서의 방폭형 전기기계기구 사용</li> <li>- 정전기 관리를 위한 금속제외함 접지 설치</li> </ul> </li> </ol> </li> <li>□ 관리적 대책                             <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 작업장 주변 화재, 폭발 경고표지게시판 설치, 폭발위험장소 구분도 게시</li> <li>2. 작업장 출입구에 휴대전화, 라이터 등 개인화기 보관함 설치</li> <li>3. 주말조업 금지 및 부득이한 경우 2인 1조 작업 및 관리감독 강화</li> <li>4. 안전보호구 착용철저(안전화, 방독마스크, 귀마개, 보안경 등)</li> <li>5. 안전교육강화(물질안전보건자료, 안전운전절차, 폭발위험장소, 비상 시 대응 요령, 보호구 착용요령 및 중요성)</li> </ol> </li> </ul>

### 3.3. HFACS-K 분석 사례

HFACS-K 사고분석 방법에 따라 해당 사례를 불안전한행동, 불안전한행동의 전제조건, 불안전한 감독, 조직영향 4가지 측면에 따라 분석한 사례는 다음과 같다.

#### 3.3.1. 불안전한 행동

##### • 오류>숙련기반 오류

실패요인	개선대책
□ 안전점검에 대한 체크리스트를 작성하지 않음	□ 작업에 대한 안전점검 체크리스트를 작성하여 작업 전 점검 실시

##### • 오류>의사결정 오류

실패요인	개선대책
□ 올바른 결정을 내릴 수 있는 최신의 정보가 충분하게 제공되지 않았음	□ 조제공정에 대한 폭발위험장소에 대한 평가 및 관련 정보를 제공하고, 교육을 실시
□ 작업에 필요한 지침과 절차를 제공하지 않았음	□ 작업에 대한 안전작업 지침과 절차를 제정하고 근로자에게 제공, 교육을 실시
□ 작업자와 관리감독자 간의 충분한 의사소통이 되지 않았음	□ 본 사고 작업 시 작업자 단독으로 수행하였으며 위험작업에 있어 관리감독자를 배치하고 충분한 의사소통을 할 것

##### • 오류>지각오류

실패요인	개선대책
□ 안전보건표지 및 위험정보를 인지하지 못 하였음	□ 본 사고 발생 장소는 폭발위험장소로 구분하여 관리해야 할 위험지역으로 해당 위험성이 평가되도록 하고 해당 내용을 근로자에게 제공, 교육을 실시

##### • 위반>일상적 위반

실패요인	개선대책
□ 일상적으로 안전작업절차를 준수하지 않는 것이 지속되어 왔음	□ 해당 위험작업에 대한 안전작업절차를 제정하고 근로자에게 제공, 교육 실시

##### • 위반>예외적 위반

실패요인	개선대책
□ 작업지시나 허가 받지 않고 작업을 수행하였음	□ 해당 위험장소에서의 작업은 안전작업허가서를 발행하고 해당 위험에 대한 위험성평가 실시

#### 3.3.2. 불안전한 행동 전제조건

##### • 환경요인>물리적 환경

실패요인	개선대책
□ 작업장 환기가 불충분하였음	□ 해당 장소는 솔벤트의 유기용제의 증기로 인한 화재폭발사고 발생위험이 높은 장소로 충분한 환기가 필요하여 전체환기 또는 국소배기장치를 설치하여 유증기로 인한 화재 폭발사고 위험을 예방
□ 적절한 위험경고(안전보건표지)표지를 게시하지 않았음	□ 해당 장소에 폭발위험장소의 구분도를 게시하고 폭발, 화재 위험에 대한 안전보건표지를 게시

##### • 환경요인>기술적 환경

실패요인	개선대책
□ 작업에 가장 적절한 작업장소 및 장비를 사용하지 않았음	□ 해당 공정은 솔벤트의 유증기로 인한 폭발위험이 높은 장소이며 이 장소에서 지게차(전기적 집화원 비방폭구조)를 사용함으로써 화재폭발이 발생하였음, 이동식 대차 등 비점화원 장비를 사용
□ 작업자의 안전과 보건 위험성 감소를 위해 작업공간과 장비를 선택하고 개선하지 않음	□ 해당 공정을 폭발위험장소로 구분하고 장비의 사용에 있어 방폭전기계기구를 사용
□ 장비를 안전하게 사용하기 위한 통제장치 또는 방호장치가 없었음	□ 솔벤트 취급 교반기에서 발행한 유증기의 감지를 위해 인화성 가스 누출 경보기가 설치하고 정전기를 제거할 수 있는 정전기 제거 장치를 설치
□ 작업을 위한 재료와 물질이 위험성이 있었음	□ 솔벤트는 인화성이 매우 높은 물질로 용제로 사용 시에 적절한 안전조치를 수행하여야 하며 가급적 위험성이 낮은 물질로 대체할 필요가 있음
□ 재료와 물질이 작업자에게 유해하였음	□ 인화성 증기의 발생으로 인한 화재폭발위험이 있는 장소에는 제전모, 제전복, 제전화 등 정전기 예방 보호구를 착용하고 작업

##### • 작업자 불안전한 관행>인적요소 관리

실패요인	개선대책
□ 작업자는 작업에 필요한 교육 훈련을 충분히 받지 못했음	□ 산안법 시행규칙 제26조 1항에 따라 화학설비 중 반응기, 교반기, 추출기의 사용 및 세척 작업 시 특별안전교육을 실시
□ 특별히 위험한 작업에 대해 특별안전보건교육을 실시하지 않았음	□ 폭발위험지역에서의 위험작업을 하는 경우 작업자에게 충분한 위험을 고지하고 이에 대한 적절한 교육 훈련을 실시



### 3.3.3. 불안정한 감독

#### • 부적절한 감독

실패요인	개선대책
<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 수립된 안전작업계획서를 작업자에게 제공하지 않았음</li> <li>□ 안전작업계획서에 따라 교육</li> <li>□ 위험작업에 대해 작업지휘자를 배치하지 않았음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 안전관리자는 위험작업에 대한 안전작업계획서를 작업자에게 제공하도록 조치</li> <li>□ 안전작업계획서를 수립하고 해당 작업에 대한 내용을 작업자에게 교육하고 훈련하도록 조치</li> <li>□ 위험작업 시 작업지휘자(관리감독자)를 배치하여 위험사고 발생 시 즉시 비상조치가 취해지도록 조치</li> </ul>

#### • 부적절한 작업계획

실패요인	개선대책
<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 해당 작업에 대한 위험성평가를 실시하지 않았음</li> <li>□ 작업 시 규정, 지침, 절차서, MSDS, 경고표지를 게시하지 않았음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 위험작업(화재폭발)에 대한 사전 위험성평가를 실시하고 개선계획을 세워 개선 조치</li> <li>□ 현장에 MSDS를 비치하고, 해당 공정에 대한 위험을 사전에 작업자가 인지하도록 경고표지를 게시</li> </ul>

#### • 문제해결 미이행

실패요인	개선대책
<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 불안정한(위험한) 작업을 하면서 해당 내용을 작업자가 인지하지 못 하였음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 솔벤트를 취급하는 공정에서의 화재폭발 위험에 대해 작업자가 인지할 수 있도록 폭발위험장소 구분도를 작성하여 게시</li> </ul>

#### • 감독위반

실패요인	개선대책
<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 작업시작 전 유해위험 방지에 필요한 점검사항을 이행하지 않았음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 작업시작 전 위험설비(교반기)에 대한 점검을 실시하여 유증기가 발생되어 누출되고 있는지 사전에 점검 실시</li> </ul>

### 3.3.4. 조직영향

#### • 자원관리

실패요인	개선대책
<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 위험작업에 대한 적절한 교육훈련이 제공되지 않았음</li> <li>□ 인적요소를 고려하여 공정, 장비 및 기계가 설계되지 않았음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 위험작업의 경우 해당 작업이 안전하게 작업될 수 있도록 적절한 교육(절차서 제정)을 실시</li> <li>□ 해당 지역은 폭발위험이 있는 장소로 방폭구조의 설비를 사용하지 않도록 조치</li> </ul>

#### • 조직 환경

실패요인	개선대책
<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 사고사례(아차사고 포함)를 조사 및 수집하는 절차가 수립되어 있지 않았으며 이에 대한 조사 수집 자료가 없어 안전보건활동에 활용되지 못함</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 사고사례를 수집하는 절차와 이에 대한 예방대책 등을 안전보건활동에 활용될 수 있도록 조치</li> </ul>

#### • 조직프로세스

실패요인	개선대책
<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 안전작업 수행을 위한 프로세스(안전작업절차서, 안전한전절차서, 위험성평가 절차서)가 수립되어 있지 않음</li> <li>□ 잠재적 비상상황에 대한 비상조치계획서가 수립되어 있지 않고 훈련되지 않음</li> <li>□ 안전보건활동 성과를 측정할 수 있는 모니터링 절차가 제정되어 있지 않음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 사고 공정에 대한 안전작업절차서를 수립하여 작업자에게 제공</li> <li>□ 비상조치계획에 대한 절차서를 제정하고 이에 대한 훈련을 실시</li> <li>□ 안전보건활동에 대한 성과를 측정할 수 있는 지표와 모니터링 절차를 제정하여 체계적인 안전보건활동이 이루어질 수 있도록 조치</li> </ul>

위의 사례에서 접촉제 제조공장에서의 폭발사고를 산업재해조사표에 따라 사고원인과 사고재발방지 대책과 HFACS-K 사고조사기법을 활용하여 실패요인과 개선대책을 비교하였다. 기존산업재해조사표에 따른 사고의 원인은 유증기의 체류와 디젤원료의 지게차 사용으로 인한 전기적 점화원에 따른 폭발사고로 기술적 대책 4가지와 관리적 대책 5가지를 제시하였다. 반면 HFACS-K 조사기법에서는 실패요인을 작업자의 불안정한 행동(숙련기반오류, 의사결정오류, 지각오류, 일상적 위반, 예외적 위반), 불안정한 행동 전제조건(환경요인, 작업자 불안정한 관행), 불안정한 감독(부적절한 감독, 부적절한 작업계획, 문제해결 미이행, 감독위반), 조직영향(자원관리, 조직환경, 조직프로세스)의 4가지 관점에서 29가지의 실패원인이 파악되었고 그에 따른 개선대책 29가지를 수립하였다.

## 4. 결론 및 고찰

우리나라는 지속적인 성장으로 경제적·문화적으로 이미 선진국 반열에 올라와 있다. 그러나 안전분야에 있어서는 아직도 선진국에 걸 맞는 수준의 모습을 보이지 않고 있다. 그 동안 국내에서 발생한 산업재해 원인의 기저에는 안전불감증이 있었으며 안전에 대한 의식 부족이 있었다. 또한 제도적으로 산업재해가 발생하게 되면 고용노동부에 보고하도록 한 제도는 매우 바람직하나 그 방법에 있어 사고의 원인과 재발방지를

위한 대책이 미흡한 실정이다. 이에 본 논문은 Reason의 스위치즈 모델을 기반으로 한 HFACS(The Human Factors Analysis and Classification System)와 HSE 사고조사기법을 활용하여 국내 사고 조사 시에 원인과 개선대책을 수립하는데 도움을 주고자하였다<sup>18)</sup>.

HFACS는 군사, 항공 분야에서의 인적 오류를 체계적으로 검사하는 기법의 하나로 사고조사를 하는데 매우 유용하다. HFACS는 4단계(불안전한 행동, 불안정한 행동의 전제조건, 불안정한 감독, 조직역량)로 나누어 오류를 설명한다. HFACS의 개발은 군사와 항공 분야에 서의 사고 조사를 목적으로 하고 있어 그 용어나 분석 방법이 국내 산업재해 분석에 적용하기에 적절하지 않은 부분이 있다. 또한 해당 분야에 전문가가 아니라면 불안정한 행동과 전제조건, 불안정한 감독, 조직역량에 대한 사고 원인을 파악하기에 어려움이 있다. 따라서 조사자의 역량에 따라 사고원인을 찾는데 변동성이 존재하며 이에 대한 대책 또한 조사자의 지식과 경험수준에 따라 많은 차이를 나타낸다.

본 논문에서는 이러한 전문성의 차이에 따른 사고원인과 재발방지 대책의 수준 차이를 극복하고 우리나라 산업현장에 맞는 사고조사 기법을 개발하기 위해 영국의 HSE 사고조사 기법의 질문 리스트를 차용하였다. 이렇게 개발된 HFACS-K는 HFACS의 인적오류에 따른 사고의 체계적인 분석 방법은 유지하고 그 조사방법으로 체크리스트 기법을 도입함으로써 관련 분야의 전문 지식이 없는 조사자도 사고 원인과 대책을 세우는데 도움을 줄 수 있을 것이다.

## References

- 1) Ministry of Employment and Labor, Enforcement Decree of The Occupational Safety and Health Act, 2019.
- 2) KOSHA, Industrial Accident Statistics, Annual Report, pp. 5-7, 2017.
- 3) KISA, Develop and Utilize Systematic Analysis Techniques for Human Error-related Accidents, KISA REPORT, pp. 19-25, 2019.
- 4) R. J. Mitchell, "Application of a Human Factors Classification Framework for Patient Safety to Identify Precursor and Contributing Factors to Adverse Clinical Incidents in Hospital", *Applied Ergonomics*, Vol. 52, pp. 190-193, 2016.
- 5) M. M. Aliabadi, "Analysis of Hhuman and Organizational Factors that Influence Mining Accidents based on Bayesian Network", *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, DOI :10.1080, pp. 4-6, 2018.
- 6) C. Neuhaus, "Applying the Human Factors Analysis and Classification System to Critical Incident Reports in Anaesthesiology", *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*, Vol. 62, No. 10, pp. 7-9, 2018.
- 7) HSE, "Investigating Accidents and Incidents", HSG245, pp. 65-88, 2004.
- 8) G. Ye, Q. Tan and X. Gong, "Improved HFACS on Human Factors of Construction Accidents : A China Perspective", *Advances in Civil Engineering*, Vol. 32 Article ID 4398345, pp. 3-4, 2018.
- 9) J. K. Choi, "The Human Factors Analysis and Classification System", *The Korean Journal of Aerospace and Environmental Medicine*, Vol. 25, No 2, pp. 38-42, 2015.
- 10) S. A. Shappell and D. A. Wiegmann, *The Human Factors Analysis and Classification System-HFACS*, Technical Report, pp. 2-8, 2000.
- 11) S. T. Chen, "A Human and Organisational Factors analysis method for marine casualties using HFACS-Maritime Accidents(HFACS-MA)", *Safety Science*, Vol. 60, pp. 106-107, 2013.
- 12) R. M. Reyes-Marinez, "Human Factors Identification and Classification Related to Accidents' Causality on Hand Injuries in the Manufacturing Industry", *Work*, Vol. 41, No. Supplement 1, pp. 3155-3163, 2012.
- 13) K. Y. Kim, "Analysis of Human Factors Responsible for Accidents by Railroad Traffic Controllers Using HFACS-rtc", *Journal of the Korean Society for Railway*, Vol. 21, No 3, pp. 312-315, 2018.
- 14) O. O. Igene and C. W. Johnson, "Comparing HFACS and AcciMaps in a Health Informatics Case study-the Analysis of a Medication Dosing Error", *Safety and Reliability-Safe Societies in a Changing World*, Vol. 20, pp. 5-6, 2018.
- 15) N. S. Olsen and S. T. Shorrock, "Evaluation of the HFACS-ADF Safety Classification System : Inter-coder Consensus and Intra-coder Consistency", *Accident Analysis Prevention*, Vol. 42, pp. 437-444, 2010.
- 16) M. Celic and S. Cebi, "Analytical HFACS for Investigating Human Errors in Shipping Accidents", *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 41, pp. 66-75, 2009.
- 17) R. J. Mitchell, A. Williamson and B. Molesworth, "Application of a Human Factors Classification Framework for Patient Safety to Identify Precursor and Contributing Factors to Adverse Clinical Incidents in Hospital", *Applied Ergonomics*, Vol. 52, pp. 185-195, 2016.
- 18) S. Reinach and A. Viale, "Application of Human Error Framework to Conduct Train Accident/Incident Investigations", *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 38, pp. 396-406, 2006.