

산업현장에서 쉽게 적용할 수 있는 근본원인 사고조사기법 개발에 관한 연구

권재범* · 권영국**†

Development of RCA Incident Investigation Method as Easily Adopted Industry Field

Jae Beom Kwon* · Young Guk Kwon**†

†Corresponding Author

Young Guk Kwon

Tel : +82-2-970-6380

E-mail : safeman@seoultech.ac.kr

Received : May 3, 2021

Revised : September 8, 2021

Accepted : September 24, 2021

Abstract : Incident investigation is one of the most important processes among various other safety management methods to prevent industrial accidents. Finding the root causes of accidents, eliminating hazards, and improving safety are the most important purposes of investigating accidents. During the investigation process, root cause analysis (RCA) techniques are used to effectively identify RCA. Over the past few decades, over 30 RCA methods have been developed. These techniques are being widely used in some industries, such as the nuclear and aircraft industries; however, most of the RCA techniques require professional knowledge and special training, making it difficult for safety managers in their respective fields to understand and apply them. Therefore, managers of general industrial sites are rarely present at the scene of actual accident investigations, and they cannot contribute much to the purpose and effectiveness of these investigations. In this study, to address these issues, we developed an RCA technique to facilitate root cause investigation of accidents in real-world industrial sites. To develop new techniques, Systematic Cause Analysis Technique (SCAT), one of the RCA techniques, was used to investigate incidents in the enterprise over three years. We also utilized feature analysis and other papers from existing RCA techniques. To verify its effectiveness, the technique proposed was also applied to the accident case. The technique developed can easily identify and analyze the root cause of an accident and help industrial managers. It can also identify the root cause category where accidents are concentrated and use this data to establish guidelines for preventing future accidents and, thus, focus on prioritizing improvement initiatives.

Key Words : incident investigation, RCA, SCAT, causation model

Copyright©2021 by The Korean Society of Safety All right reserved.

1. 서론

산업재해 예방을 위해 산업현장에서는 위험성 평가, 안전보건 교육/훈련, 현장의 불안정한 상태를 제거하기 위한 점검 등 다양한 안전관리 활동이 이행되고 있으며, 사고조사도 중요한 사고 예방 관리 활동 중 하나이다. 사고조사의 필요성과 중요성은 많은 연구에서 언

급되었는데 고용노동부는 사업장에서 발생한 산업재해를 면밀하게 조사하여 재해에 대한 원인을 명확히 파악하고 이에 대한 예방대책을 수립하고 실천함으로써 추후 동종재해 또는 유사재해를 미리 방지하는 것¹⁾이라고 하였고, 산업안전보건법 제25조 제1항 4호에서도 산업재해 발생 시 사고조사를 의무적으로 시행하도록 하고 있다. Lindbeg는 사고로부터 배운다는 것은 사

*서울과학기술대학교 안전공학과 박사과정 (Department of Safety Engineering, Seoul National University of Science Technology)

**서울과학기술대학교 안전공학과 교수 (Department of Safety Engineering, Seoul National University of Science Technology)

건을 발견하고 사건의 과정에서부터 사고에 이르기까지 사고와 사고에 대한 지식을 추출하고, 함께 분석하여 정보를 필요로 하는 모든 사람에게 전달하는 것인데, 이를 통해 유사한 사건의 발생을 막고 피해를 줄이며 안전 작업을 개선하는 것²⁾이라고 사고조사의 목적에 대하여 설명하였다. Caparrós은 산업재해에 대한 조사는 문제의 사고를 유발한 원인을 규명하기 위한 안전 기술이며, 유사 사고가 재발하지 않도록 하기 위한 목적으로 적절한 예방조치를 설계하고 이행하는데 필수적인 첫 번째 단계³⁾라고 하였고, Snorre은 사고조사의 목적은 사건 순서와 사고 시나리오에 영향을 미치는 모든 주요 요인을 식별하여 미래의 사고 예방에 적합한 위험 감소 조치를 제안할 수 있도록 하는 것⁴⁾이라고 하는 등 국내외의 많은 선행연구에서 사고조사의 중요성에 대하여 강조되었다.

우리나라에서도 관련 법령에 의거 사고 발생 시 사고조사를 통해 사고의 근본 원인을 파악하고 그 결과를 관련 기관에 보고하여야 하고 있으나, 고용노동부에서는 근본 원인 파악을 위한 가이드나, 기법을 제공하지 않아 실제 기업들의 조사가 미흡하며, 고용노동부에서도 법 위반자에 대해 처벌에만 관심을 가지고 있고, 사고가 발생한 근본 원인의 파악을 통한 재발 방지에는 관심이 없어⁵⁾ 대기업을 제외한 안전관리 수준이 미흡하거나 규모가 작은 기업과 조직에서는 사고조사 시 근본 원인 파악이 더욱 어렵다. 다만, 최근 안전보건공단에서는 FRAM 기법을 이용하여 국내 산업재해에 분석에 적용하려고 하고 있다⁶⁾. 하지만 FRAM과 같은 3세대 기법들은 시스템이 밀접하게 결합되고 다루기 힘든 원자력, 항공산업에 적합하여 일반적인 제조/건설 현장에서 발생한 재해에는 적용이 쉽지 않다⁷⁾.

사고조사 활동 시 유의할 점은 사고조사 및 분석이 일관되고 균일하게 적용되도록 함으로써, 개인의 주관적 해석 및 원인으로 분석 결과가 변형되는 것을 제한하는 것이 중요하다. 그래서 사고조사는 개인의 통찰력과 기술에 의존하지 않아야 하고, 일반화된 대중들의 지식과 제도화된 상식에 의존하여야 한다⁷⁾. 이를 위해 사고조사는 사고의 근본 원인을 효과적으로 파악하기 위해 객관적 증거를 찾는 조사가 필요하며, 이때 근본 원인 분석법이라고 표현하는 RCA(Root Cause Analysis) 기법들이 활용되어 진다. RCA 기법들은 사고 발생의 근본 원인을 파악할 수 있다는 장점이 있으나, 산업현장에서 실제로 사고조사에 적용하기에는 몇 가지 문제점들이 있다. 첫 번째는 일부 RCA 기법들이 원자력, 항공, 철도 등 일부 업종에 적합하도록 개발되어⁸⁾ 일반적인 제조/건설 현장의 사고조사에 적용하기

에는 범용성이 떨어진다. 둘째, 대다수 RCA 기법들이 해외에서 개발되어 언어적 제한으로 인해 국내 산업현장에서 사용하기에 충분한 설명이 부족하다. 그리고 RCA 기법을 사용하기에는 일정 시간 이상의 교육 또는 훈련이 필요하지만, 이를 교육/훈련할 수 있는 교육기관이 국내에는 부족하다. 셋째, 일부 RCA 기법들은 아차사고 또는 피해의 규모가 적은 산업재해의 조사에 적용하기에는 너무 강력하고 시간/자원의 소모적이며, 근본 원인을 파악하기 위한 효과성 위주여서 산업현장의 미숙련된 관리자들이 실제 사고조사에 적용하기 위한 편의성 등은 고려되지 않았다⁷⁾.

사고발생 시 사고의 근본 원인 파악과 분석의 필요성은 국내의 안전관리자들이 공감하며, RCA 조사기법이 사고의 근본 원인 파악에 도움이 된다고 생각하고 있으나 앞에서 언급된 이유로 산업현장에서 사고조사 시 실질적인 적용이 어려워 산업현장의 적용을 위해서는 쉽고, 표준화된 조사기법의 개발과, 조사기법에 대한 교육/홍보가 필요하다는 연구 결과도 있다⁹⁾.

그래서 본 연구에서는 외국에서 개발되어 국내 산업현장에 적용하는 RCA 사고조사 방법이 아닌, 국내 산업현장에서 관리자들이 쉽게 적용하여 사고의 근본 원인을 찾아내고 이를 통해 정확한 재발 방지대책을 수립하여 사고의 재발 방지를 통해 사고 예방에 이바지할 수 있는 표준화되고 쉽게 적용할 수 있는 RCA 사고조사 방법을 제안하는 것이 그 목적이다.

2. 이론적 배경

2.1 RCA 기법

RCA 분석은 일련의 작업 방법으로서 사건, 사고의 실제 또는 잠재적 발생이나 그 전조, 상황, 조건이 발생하게 된 직접/근본 원인에 대한 이해를 통해 논리적 발견 및 결론에 도달하기 위해 파악한 사실 및 자료들을 구성하게 하도록 설계된 분석방법이다. RCA 분석법은 효과적인 시정 조치와 대책을 도출하여 향후 재발 가능성을 방지하거나 줄일 수 있도록 한다¹⁰⁾. 이때, 조사자가 근본 원인을 식별하는 데 도움을 주기 위해 경험을 통해 개발된 조사 도구들이 RCA 기법들로서 지난 수십 년간 30개 이상의 공식화된 사고조사 기법들이 많은 연구를 통해 업종의 특성에 맞게 개발되었고^{11,12)} 개발된 다양한 방법들의 특성들에 대한 설명과 장단점의 비교 연구도 많이 진행되었다^{10,13,14)}. 많은 RCA 기법들은 경험적 방식으로 개발되었으며, 일부는 사례연구를 통해, 일부는 학문적 구성에서 일부는 다른 방법 또는 경험적 관찰을 통해 개발 되었다¹³⁾.

Table 1은 다양한 RCA 기법들과 실제 사고조사에 적용하기 위한 교육훈련의 수준 및 적용 가능한 산업군을 나타내고 있다.

2.2 사고 발생모델(Causation model)

사고 발생모델은 사고가 어떻게 일어났는지 설명하기 위해 사용되는 기준 또는 사고에 대한 정형화된 사고 방식으로, 사고 발생 메커니즘에 관한 지식을 제공한다. 사고 발생모델은 여러 가지가 있지만, 사고 분석 모델에 따라 다른 방식으로 사고를 설명할 수 있어 사고조사 기법을 개발하기 전에 어떤 사고 발생모델을 이용할 것 인가를 우선 결정해야 한다¹⁵⁾.

사고 발생모델에 관한 선행연구 중 대표적으로 다음의 3가지 모델로 구분할 수 있다¹⁶⁾.

1) 순차적(Sequential) 모델 : 시간 순서로 일련의 사건이나 상황이 인과관계에 따라 사고 발생을 설명하는 모델로서, 바람직하지 않은 사건인 근본 원인이 사고를 유발하는 일련의 사건을 시작하고 연속적인 사건들이 원인과 결과 관계로 인해 발생한다고 가정한다. 이는 사고가 이 근본 원인으로 발생하였기 때문에 근본 원인을 제거하면 사고의 재발을 방지할 수 있다고 설명을 한다. 대표적인 모델로는 Heinrich의 도미노 모델과 FTA, SCAT 등이 있으며 1세대 모델로 불린다.

2) 역학적(Epidemiological) 모델 : 복합적이고 선형적인 원인과 결과 모델로서 사고가 능동적 결합(안전하지 않은 행동)과 잠재적인 조건(안전하지 않은 조건)의 결과로 나타나는 것으로 설명을 하는데, 안전하지 않은 행동에 의해 사고가 유발될 때까지 비활성 상태에 있는 인체의 병원체 잠복 조건을 비유하는 의료 표현을 사용하여 역학 모형이라고 지칭한다. 대표적 모델로는 Reason의 Swiss Cheese 모델이 있으며, 2세대 모델이라고 한다.

3) 체계적(Systemic) 모델 : 선형적 인과관계 혹은 중복적 실패 요소와 표면적/활동적 실패 요소와의 관계가 아닌 시스템 전체적인 관점에서 안전사고를 바라보려고 하는 모델로서 기존의 1, 2세대인 순차적 모델과 역학적 모델이 가지고 있던 단점을 극복하려고 하였다. 대표적 모델로는 Hollnagel의 STAMP, FRAM 등이 있으며, 3세대 모델이라고 불린다.

3. 연구 방법

사고조사 프로세스는 선행연구들에 따라 조금씩 다르게 설명되지만, 1) 증거 및 사실의 수집 2) 증거 및 사실의 분석 3) 개선대책 수립 및 보고서 작성의 3단계

Table 1. Characteristics of different accident investigation methods

Method	Training Need ⁴⁾	Levels of analysis ⁴⁾	Application field ¹²⁾
Events & causal factors charting	Novice	1-4	Occupational accidents across all sectors
Barrier analysis	Novice	1-2	
Change analysis	Novice	1-4	
Root cause analysis	Specialist	1-4	Across many industries especially quality management
Fault tree analysis	Expert	1-2	
Influence diagram	Specialist	1-6	
Event tree analysis	Specialist	1-3	
MORT	Expert	2-4	Nuclear industry
SCAT	Specialist	1-4	Occupational accidents across all sectors
STEP	Novice	1-6	
MTO-analysis	Specialist/expert	1-4	Nuclear, traffic, aviation industry
AEB-method	Specialist	1-3	Nuclear industry
TRIPOD	Specialist	1-4	Oil industry
Acci-Map	Expert	1-6	

Levels of analysis :

- 1. Work and technological system
- 2. Staff level
- 3. Management level
- 4. Company level
- 5. Regulators and associations level
- 6. Government level

로 크게 구분할 수가 있으며, 본 연구는 2단계 프로세스에 초점을 맞추어 산업현장의 사고조사에 쉽게 적용하여 사고의 근본 원인을 파악, 분석할 수 있는 기법을 제안하는 것이 목적이다.

지금까지 개발된 RCA 기법들은 각기 장점을 갖고 있지만, 각각의 적용 분야가 다르며, 조사 결과의 완성도와 단점도 다르다. 사고조사 방법들은 때때로 완전히 다른 방식으로 사고조사에 접근하기 때문에 하나의 방법을 사용하여 사고를 분석하는 것은 그 사고에 대한 단편적인 정보만 제공할 가능성이 있어, 여러 가지 사고조사 방법들을 조합하면 더욱 우수하고 신뢰할 수 있는 조사가 가능하다¹¹⁾. 그래서 다음의 3가지 방법을 이용하여 근본원인 사고조사기법을 제안하고자 한다.

첫 번째 방법은 그동안 개발된 RCA 기법들의 특징들을 분석하여 새로운 기법의 개발에 적용할 수 있는 가이드를 선정하였다.

둘째, 국내 A그룹에서 RCA 기법 중 SCAT(Systematic Cause Analysis Technique)기법을 이용하여 산업재해를 조사, 분석한 근본 원인을 통계화하였고, 이 통계 결과에서 나타난 주요 근본 원인을 파악하였다.

마지막으로, 사고조사를 담당하고 있는 각 기업체의

안전 관리자들을 대상으로 국내 기업들의 사고조사에 대한 관행 조사 선행연구에서 파악된 실제 사고조사 시 근본 원인으로 분석된 내용도 활용하였다.

위의 3가지 방법으로 파악된 사고의 주요 근본 원인 항목들을 기반으로 제안하는 RCA 기법의 근본 원인 항목들을 선정하였고, 이를 통해 국내 기업의 관리자들이 쉽게 적용할 수 있는 RCA 사고조사기법을 제안하였다. 제안된 사고조사 방법은 실제 사고 사례에 적용함으로써 효과성 검증은 해보았다.

4. 개발과정

4.1 기존 RCA 기법들의 특징 분석

특징 분석에 선정된 기법들은 사고원인을 사전 정해진 항목으로 체크리스트처럼 제시하고 있는 RCA 기법들을 기준으로 분석하였다. 해당 기법들은 사고원인을 체크리스트처럼 주어진 항목에서 선택할 수 있어 일정 수준의 교육훈련을 거친 후에는 쉽게 근본 원인을 찾을 수 있다는 장점이 있으며, 또 다수의 사업장/현장을 가진 조직의 경우 사고의 원인을 제시된 항목을 이용한 통일된 항목으로 분석이 가능하여 분석 결과들이 누적되면 조직의 사고 발생 경향 파악이 유리하다는 장점이 있다. 해당 기준에 부합하는 기법들은 SCAT¹⁷⁾, TapRoot¹⁸⁾, RCA¹⁹⁾, DOE²⁰⁾ 기법들인데, 이들 기법에서 제시하는 근본 원인 항목들을 대항목, 중항목까지 비교 후 공통적으로 나타나는 항목들을 파악하여 이를 Table 2에 나타내었다. 해외에서 개발된 기법 외 안전보건공단의 KOSHA Code²¹⁾와 한국수력원자력에서 사용하는 사고원인 code²²⁾도 사고원인을 체크리스트 항목으로 제공하여 함께 비교하였다.

Table 2에서 RCA 기법을 비교한 결과 인적 요인, 작업환경, 교육/훈련, 의사소통, 작업절차와 관련된 원인 항목들이 모든 기법들에서 공통으로 나타났으며, 예방 정비 항목은 5개 기법에서 성과/동기, 설비/도구/자재, 리더쉽, 설계는 4개의 기법에서 근본 원인 항목으로 표현되는 것을 알 수 있었다. 즉, 6개의 기법들에서 공통적으로 근본 원인이라고 나타내는 항목들은 모두 사고의 중요 근본 원인으로 판단할 수 있다.

4.2 SCAT 기법 적용 재해분석

SCAT 기법은 Frank E. Bird가 사고의 근본원인 파악을 위해 손실원인모델 (Loss Causation Model)¹⁷⁾을 개발하면서 만든 기법으로, 1991년 Bird가 창업한 The International Loss Control Institute (ILCI)와 선급기관인 DNV와의 합병 후 DNV의 SCAT Chart라고 불리고 있

Table 2. Comparison of basic causes category among RCA methods

RCA method	SCAT chart	Tap root	RCA by ABS	DOE	KOSHA code	KHNP code
Human factor	○	○	○	○	○	○
Work environment	○	○	○	○	○	○
Education/training	○	○	○	○	○	○
Motivation, performance	○	○	○	○	○	○
Communication	○	○	○	○	○	○
Equipment, tools, material	○	○	○	○	○	○
Leadership	○	○	○	○	○	○
Preventive maintenance	○	○	○	○	○	○
Work procedure	○	○	○	○	○	○
Design	○	○	○	○	○	○
Organization	○	○	○	○	○	○
Risk evaluation	○	○	○	○	○	○

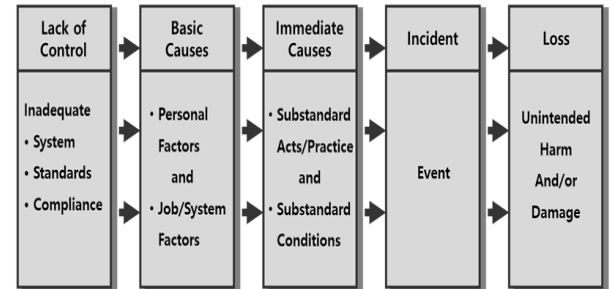


Fig. 1. Loss causation model of DNV.

는데 사고의 직접/근본 원인에 대하여 체크리스트 역할을 하는 사전 정의된 항목별 원인을 이용하여 사고조사팀에서 사고의 원인을 쉽게 식별 가능하다는 특징이 있다. SCAT 기법은 Fig. 1과 같이 손실원인모델에 따라 사고의 직접 원인은 표준 이하의 행동과 표준 이하의 상태에 대하여 분석되고, 사고의 근본 원인은 인적 요인과 업무/시스템적 요인으로 분석되어 손실원인 모델의 5가지 블록에 따라 사고의 원인을 조사하게 되어 있다. SCAT 기법은 직접 원인인 표준 이하의 행동과 표준 이하의 상태가 각각 20개 원인으로 구성되어 있고, 근본 원인항목 중 인적요소는 80개, 업무/시스템적 요소가 130개의 원인 항목으로 구성되어 있어, 사고조사 시 파악된 정보들을 이들 항목에서 사고의 원인을 찾도록 구성되어 있다.

국내 A그룹의 5개 자회사는 2015~2018년 4년간 발생한 331건의 산업재해를 SCAT기법으로 사고조사를 실시하고 사고의 원인들을 파악하여 그 결과들을 분석하였다. 5개 사에 대한 업종, 종업원 수, 매출액, 사고건수 등에 대한 정보는 Table 3에 나타내었다. 5개 사

Table 3. The industry and size of companies applying SCAT techniques to accident investigations

Company	Industry	No. of employees	Sales account billion won (2018)	No. of LTI \geq 3days (2015-2018)
A	Industrial plant machinery manufacturing/construction	7,728	13,893	97
B	Construction machinery manufacturing	3,919	57,300	59
C	Construction	1,185	1,275	96
D	Ship engine manufacturing	824	534	8
E	Electronic components, hydraulic parts etc. manufacturing	4,000	1,900	71

에서 산업재해를 SCAT 기법으로 조사, 분석한 결과를 Table 4에 나타내었는데, 직접 원인에서 표준 이하의 행동은 잠재위험 미확인이, 표준 이하의 상태는 잘못된 설계와 미흡한 작업계획 준비가 가장 큰 비율로 사고원인으로 도출되었다. 근본 원인 중 인적 요인 항목은 상황인지 부족이, 업무/시스템적 요인 항목은 손실에 대한 부적절한 확인/평가 항목이 사고의 주요 원인으로 파악되었다. 즉, SCAT 기법에서 제공하는 많은 직접/근본 원인의 항목들 중 일부 항목에 사고의 직접/근본 원인이 집중됨을 알 수가 있는데, 이는 5개사의 안전보건 관리 시스템 중 특정 요인들의 취약 하다고 설명할 수 있을 것이다.

4.3 선행연구를 통한 사고의 주요 근본 원인

국내 기업의 안전관리 담당자들을 대상으로 사고조사에 대한 조직의 관행과, 사고조사자들의 관점에 대

한 선행연구⁹⁾에서 설문조사를 통해 사고의 주요 근본 원인 항목들을 파악한 결과 응답자들이 생각하는 사고의 주요 근본 원인은 1) 스트레스, 인간 신체 능력 한계 등 인간실수 2) 잘못되거나 부족한 지식/훈련/교육 부족 등 부적절한 훈련 실수 3) 관리감독자의 잘못된 작업지시, 근로자의 잘못된 작업 등 부적절한 행동 4) 잘못되거나, 미흡한 작업절차 등 절차혼돈 실수의 4가지가 주요 사고의 원인으로 파악되었다.

5. 신규 RCA 조사기법의 개발

본 연구의 가장 큰 목적은 산업현장의 관리자들이 사고조사 시 사고의 근본 원인을 쉽게 파악하고 분석할 수 있는 기법을 제안하는 것이다. 이를 위해 사고 발생모델 선정 시 단순히 사건의 인과 관계에 따라 사고발생을 설명한 순차적 모델을 기준으로 하였고, 개발에 적용된 SCAT 기법의 Loss Causation Model도 순차적 모델에 속한다.

개발과정 시 적용한 3가지 방법들을 통해 분석한 사고의 주요 근본 원인 항목들은 Table 5에 나타내었고 이중에서 의미가 유사한 항목들은 통일하여 총 13가지의 항목들로 재구성 하였다. Table 6은 재구성한 13가지의 근본원인 항목을 나타내고 있는데, 13가지 근본원인 항목들이 정상적으로 작동하지 않은, 즉 실패한 원인을 ‘부족/미흡’, ‘없음’, ‘잘못됨’ 3가지의 요인을 적용하였고, 이들 3가지 실패 요인 외에 ‘좋은’이라는 긍정적인 요인을 추가하여 총 4가지의 요인으로 근본원인을 검토하게 하였다. 즉 사고가 발생하였을 때 사고조사의 1단계인 관련자 인터뷰, 현장 조사, 관련 서

Table 4. Causes of accident using SCAT method

Causes	Caterory	Major cause of an accident	No. of accidents / rate(%)	Total No. of accidents / rate(%)
Immediate causes	Sub-substandard acts	<ul style="list-style-type: none"> · Failure to identify hazards/risks · Improper position for task · Failure to follow procedure/work instruction · Failure to secure 	99 / 30 76 / 23 32 / 10 22 / 7	229 / 69
	Sub-substandard conditions	<ul style="list-style-type: none"> · Inadequate design preparation, and/or planning · Inadequate guards or barriers · Inadequate communications hardware/software/process · Inadequate safety, health and environment exposures · Inadequate information/data indicators · Poor house keeping/disorder 	43 / 13 30 / 9 27 / 8 24 / 7 20 / 6 20 / 6	164 / 50
Basic causes	Human factor	<ul style="list-style-type: none"> · Lack of situational awareness · Improper attempt to save time or effort · Restricted range of body movement · Improper supervisory 	68 / 21 41 / 12 26 / 8 24 / 7	159 / 48
	Job/System factor	<ul style="list-style-type: none"> · Inadequate identification and evaluation of loss exposures · No work procedure · Inadequate work planning or programming · Inadequate assessment of loss exposures · Inadequate availability of tools and equipment 	45 / 14 43 / 13 26 / 8 23 / 7 23 / 7	160 / 48

Table 5. Comparison of basic cause category through RCA review

	Basic cause category
RCA method review	<ul style="list-style-type: none"> · Human factors · Working environment · Education/Training · Motivation, performance · Communication · Equipment, tools, material · Leadership · Preventive maintenance · Work procedure · Design
SCAT analysis result	<ul style="list-style-type: none"> · Lack of situational awareness · Improper attempt to save time or effort · Restricted range of body movement · Improper supervisory · Inadequate identification, evaluation of loss exposures · No work procedure · Inadequate work planning or programming · Inadequate assessment of loss exposures · Inadequate availability of tools and equipment
Advanced research	<ul style="list-style-type: none"> · Human errors · Lack of knowledge by inadequate training/education · Improper work order by wrong communication · Wrong/improper work procedure

Table 6. Root cause matrix

No.	Basic causes category	Lack	None	Wrong	Good
1	Human factor	1-L	1-N	1-W	1-G
2	Education/Training	2-L	2-N	2-W	2-G
4	Communication	4-L	4-N	4-W	3-G
5	Work procedure	5-L	5-N	5-W	4-G
6	Motivation, performance	6-L	6-N	6-W	6-G
7	Work environment/House keeping	7-L	7-N	7-W	7-G
8	Work planning	8-L	8-N	8-W	8-G
9	Equipment, tools, material	9-L	9-N	9-W	9-G
10	Leadership	10-L	10-N	10-W	10-G
11	Preventive maintenance	11-L	11-N	11-W	11-G
12	Design	12-L	12-N	12-W	12-G
13	Risk assessment	13-L	13-N	13-W	13-G

류를 통해 사고 경위와 기타 사고 발생 관련 정보들을 파악하여 개략적인 사고의 직접 원인을 파악한 후 2단계에서 파악된 사고의 직접 원인을 통해 주어진 근본 원인 13가지 항목 중에서 선택을 한 후, 그 항목의 관리가 부족/미흡 하였는지, 관리되지 않았는지, 관리 되었더라도 잘못 관리 되었는지, 또는 잘 관리가 되고 있었는가에 대하여 총 52가지의 사고원인 매트릭스 중에서 선택할 수 있도록 하였다. 이후 마지막 단계인 3단계에서는 2단계에서 파악/분석된 사고의 근본 원인에 대한 개선대책을 수립하는 절차를 거치게 되는데, 예

를 들어 작업절차가 없어 작업자가 절차대로 업무를 수행하지 못한 사고가 발생하였다고 판단하면, 작업의 관련 절차를 만드는 것이 개선대책으로 될 것이다.

Table 6에 나타나 있는 숫자-영문 조합 표기는 사고의 통계화를 위해 표기한 코드로써 사고조사에 따른 분석 자료들이 해당 코드를 통해 동일한 표현으로 누적관리 되면, 사고의 통계화가 가능하여 조직의 안전 관리 시스템의 어떠한 영역에서 취약점이 있는지 알 수 있다.

6. 사고조사 개발 실제 사례 적용

본 연구에서 제안된 RCA 기법의 유용성 검증을 위해, 2016년 서울지하철 2호선 구의역 승강장 안전문 유지관리 작업 중 열차에 부딪혀 사망한 사고와, 2017년 많은 인명피해가 발생한 STX 조선해양의 폭발사고를 적용하였다. 통상 산업현장에서 중대 재해가 발생하면, 고용노동부 등의 관계기관이 사고조사를 실시하는데 조사 보고서는 일반 대중들에게 공개가 잘 되지 않아 연구에 활용하기가 쉽지 않다. 하지만 두 개의 사고는 사고 발생 후 국민의 높은 관심과 분노로 인해 전문가들이 참여한 조사팀에 의해 조사가 진행되어 그 원인이 상세히 파악되었으며, 보고서는 대중들에게 공개가 되어 본 연구에서 제안한 기법과 비교하기가 쉬워 적용하였다. 유용성 검증은 보고서^{23,24)}에서 도출된 사고의 근본 원인이 제안된 RCA 기법에서도 분석이 가능한지를 확인하는 방법을 적용하였다

6.1 구의역 사고 개요 및 사고원인

해당사고는 2016년 5월 28일(토) 17시 55분경 서울 지하철 2호선 구의역 승강장에 설치된 안전문 유지관리 용역업체 직원이 승강장 안전문의 정상 작동 이상으로 장애물 감지 센서를 청소하던 중 역에 진입하던 열차에 부딪혀 사망한 사고이다.

진상조사단이 파악한 사고원인은 안전 시스템 측면과 사회 문화적 요인 및 경제적 원인까지 파악 하였으나, 본 연구에서는 1세대 사고 발생모델인 순차적 모델을 적용하여, 사회문화적 요인과 경제적 원인은 고려하지 않고⁶⁾, 안전 시스템 측면에서의 다음 7가지 원인만 검토 하였다.

- 1) 인간공학적 요소의 결여 및 부실하게 시공된 승강장 안전문
- 2) 경험이 부족한 미숙련자의 작업투입
- 3) 선로 작업 안전 매뉴얼의 부재
- 4) 안전 및 기술교육 미시행

- 5) 철도 승강장 안전문 설치에 대한 기술표준 부재
- 6) 설계의 미흡 및 부실시공으로 인한 오류 증가
- 7) 작업의 외주화로 인한 철도 운영사와의 의사소통 부재/미흡

6.2 STX 조선해양 사고 개요 및 사고원인

해당사고는 2017년 8월 20일(일) 11시 35분경 경남 진해에 위치한 STX 조선해양에서 건조 중이던 선박 탱크 내에서 스프레이 도장 작업 중 화재 폭발사고가 발생하여, 4명의 사망자가 발생한 사고이다. 국민 참여 조사 위원회에서 작성된 보고서는 많은 원인들을 제시 하였지만, 본 연구에서는 구의역 사고와 같이 도급과 같은 사회제도의 구조적 문제는 고려하지 않았다. 보고서에 기술된 사고의 근본 원인은 다음과 같다.

- 1) 안전인증 제품의 유지관리에 대한 기준, 규정 부재
- 2) 밀폐공간 환기를 위한 배풍기/덕트의 점검 미실시
- 3) 관리자의 점검, 확인 프로세스 미 준수
- 4) 구매, 검수, 보관, 유지보수, 설치, 점검 등 전과정에서의 안전관리 프로세스 및 관리체계 불명확
- 5) 비상 시 행동 지침 및 비상탈출 방법 미비
- 6) 가설재 설치업체, 도장 업체간의 의사소통 부족
- 7) TBM/JSA 미실시
- 8) 밀폐공간에서의 작업에 대한 특별/정기 안전보건 교육에 대한 실시 여부 불분명

6.3 제안된 방법에 따른 사고의 분석

구의역 사고 진상조사단에서 파악한 사고의 원인을 Table 6에서 제안한 근본 원인 매트릭스와 비교하여 제안된 근본 원인 항목들이 조사보고서의 원인을 포함하고 있는지를 확인하였다. 비교한 결과는 Table 7에

Table 7. Comparison of accident report by civil accident investigation team and newly developed RCA method

Cause of accident by accident report	Cause of accident by newly developed RCA method
1. Lack of human factor and poorly constructed safety doors on platform	1-L
2. Input to work by lack of experienced and unskilled person	10-L
3. None of railroad safety manual	5-N
4. Lack of safety and skill training	2-L
5. None of technical standards for the installation of safety doors on platform	5-N
6. Increased errors due to poor design and poor construction	12-W
7. Lack/poor communication with railway operators due to outsourcing of work	4-W

나타내었는데, 조사 보고서에서 파악된 7가지 사고의 근본 원인들이 제안된 근본 원인 매트릭스에 포함됨을 알 수 있었다.

두 번째 사례인 STX 조선해양의 폭발사고도 구의역 사고와 동일하게 조사위원회의 보고서 결과를 Table 6에서 제안된 근본 원인 매트릭스 항목들이 포함하고 있는지 비교해 보았다. Table 8과 같이 STX 조선해양 폭발사고 조사보고서에서 확인된 사고원인들을 모두 제안된 근본 원인 매트릭스에 포함됨을 알 수 있었다.

두가지 사고사례 분석을 통해 사고조사의 첫 번째 단계인 증거 및 사실의 수집만 제대로 시행된다면 Table 6에서 제안된 근본 원인 매트릭스를 통해서 사고의 근본 원인을 누락 없이 파악할 수 있다고 파악되었다.

7. 결론 및 고찰

본 연구는 산업현장에서 사고조사 시 사고의 근본 원인을 파악, 분석할 수 있도록 도와주는 RCA 조사기법들이 실제 조사에 적용하기 어려운 점을 개선하기 위해 사고조사 참여자들이 쉽게 적용하여 근본 원인을 파악할 수 있도록 하는 RCA 기법 개발이 목적이다.

이를 위해 3가지 방법을 통해 주요 원인 항목을 개발하였는데, 첫 번째로 사고의 근본 원인을 사전에 항목화 해놓은 기존 RCA 기법들의 항목들을 대항목, 중항목까지 분석하여 공통된 주요 사고원인 항목을 파악하였다. 그리고 RCA 기법 중 하나인 SCAT 기법으로

Table 8. Comparison of accident report by investigation committee on the participation of the National and newly developed RCA method

Cause of accident by accident report	Cause of accident by newly developed RCA method
1. None of standards and regulations for maintenance of safety certification products	5-N
2. Ventilation system and ducts of confined space not inspected	5-L
3. Supervisor not following inspection and verification process	10-W
4. Unclear safety management system and process of all value chain for purchase, inspection, storage, maintenance etc,	9-N, 11-N
5. Insufficient of emergency action guidelines and escape methods	5-L
6. Lack of communication between contractors	4-L
7. TBM/JSA not conducted	2-L
8. Unclear implementation of special/regular safety training for confined space	2-L

사고조사를 실시한 기업들의 실제 분석결과를 통해 SCAT 기법에서 제공하는 원인 항목들 중 일부 항목들에 사고의 근본 원인이 집중됨을 알 수 있었고, 이들 원인 항목을 활용하였다. 마지막으로 안전 관리자들이 생각하는 사고의 근본 원인 항목들을 파악한 선행연구를 이용하였다.

3가지 방법을 통해 파악된 중요 근본 원인들을 이용하여 52가지 원인항목 매트릭스를 만들었고, 이를 검증하기 위해 구의역 안전문 수리 중 발생한 중대 재해와 선박 제조 작업 중 발생한 화재/폭발 사고 사례를 적용해 보았으며, 적용 결과 공식 사고조사보고서에 도출된 사고원인들이 제안된 기법으로 사고가 발생한 근본 원인을 도출할 수 있어, 조사 방법에 대한 유효성을 확인할 수 있었다.

제안된 RCA 기법의 장점은 다음의 4가지로 정리할 수 있다.

첫째, 사고의 중요 근본 원인 항목들을 사고가 발생할 수 있는 ‘부족/미흡’, ‘없음’, ‘잘못됨’, ‘좋은’의 4가지 요인으로 매트릭스를 구성하여 비교적 적은 52가지의 사고원인들로 산업현장의 사고조사팀이 쉽게 원인을 선택할 수 있다.

둘째, 사고의 근본 원인으로 파악된 항목에 대한 4가지 요인이 명확하게 나타나 개선대책의 수립이 쉽다.

셋째, 코드화 된 원인 결과를 통해 조직에서 어떠한 관리의 취약점이 있는지에 대한 경향 분석이 가능하다.

마지막으로 부정적인 항목 외 긍정적 항목인 ‘좋은’을 포함하여 사고발생 조직의 시스템 중 잘 운영되고 있는 부분도 사고조사보고서에 언급되도록 하여 사고보고의 부정적인 면을 줄일 수 있도록 하였다.

개발된 RCA 기법을 이용하면 ‘사고로부터 배우다’라는 사고조사의 목적에 맞게 사고의 근본 원인 파악, 분석으로 조직의 재해가 집중되는 원인 항목의 파악이 가능하여 사고조사의 목적인 사고의 재발 방지에 활용할 수 있을 것이며, 더 나아가 사고가 발생하는 근본 원인에 대한 경향 파악이 가능하여 조직의 안전관리 전략방향 수립과 개선 우선순위 선정에 활용할 수 있어 기업의 사고 예방에도 크게 이바지할 수 있을 것이다. 다만, 근본 원인을 발견하기 위한 사고조사 프로세스의 첫 번째 단계인 증거수집과 사고의 발생개요를 제대로 파악해 사고의 재구성을 선행적으로 진행하기 위해 관련자 인터뷰 및 문서 확인 등은 필수적으로 진행되어야 할 것이다.

향후에는 제안된 RCA 조사 기법이 사고원인 파악의 정확성을 가지고 다양한 업종에 쉽게 적용 가능한가에 대한 추가 검증과, 파악된 근본 원인 코드화에 따른 개

선대책 방법들의 제안에 대한 추가적인 연구가 필요할 것이다.

References

- 1) Ministry of Employment and Labor (MOEL), “A Study on the Effect of the Accident Investigation Affecting to the Industrial Accident Prevention”, p. 93, 2010.
- 2) A. K. Lindberg, S. O. Hansson and C. Rollenhagen, “Learning from Accident-What More Do We Need to Know?”, *Safety Science*, Vol. 48, pp. 714-721, 2010.
- 3) F. S. Caparrrps, J. C. Romero, M. S. Cebador and J. A. Castrillo, “Analysis of Registration and Notification of Circumstances in Official Investigation Reports on Occupational Accidents”, *Occupational Safety and Hygiene IV - Arezes et al. Taylor & Francis*, 2016.
- 4) S. Sklet, “Comparison of Some Selected Methods for Accident Investigation”, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 111, pp. 29-37, 2004.
- 5) J. W. Jung, “A Study on the Enforcement of the Occupational Safety and Health Law in Korea - Problems and Improvement Measure”, *The Journal of Labor Law*, Vol. 40, pp. 179-220, 2017.
- 6) The Korea Occupational Safety and Health Agency (KOSHA) “In-depth Analysis of Accident Cases Based on Safety 2”, *Conference of Safety & Health Week*, 2019.
- 7) E. Hollnagel and J. Speziali, “Study on Developments in Accident Investigation Methods: A Survey of the State of the Art”, *SKI Report*, 2008.
- 8) D. S. Kim, D. H. Baek and W. C. Yoon, “A Proposition of Accident Causation Model for the Analysis of Human Error Accidents in Railway Operations”, *J. of Ergonomics Soc. of Korea*, Vol. 29, No. 2, pp. 241-248, 2010.
- 9) J. B. Kwon and Y. G. Kwon, “Incident Investigator’s Perspectives on Incident Investigations Conducted in Korea Industry”, *J. Korean Soc. Saf.*, Vol. 36, No. 2, pp. 58-67, 2021.
- 10) European Commission Joint Research Centre (JRC) Scientific and Technical Reports, “Application and Selection of Nuclear Event Investigation Methods, Tools, and Techniques”, 2012.
- 11) L. Benner Jr., “Accident Investigation Data: Users’ Unrecognized Challenges”, *Safety Science*, Vol. 118, pp. 309-315, 2019.
- 12) M. Pillay, “Accident Causation, Prevention and Safety Management : a Review of the State of the Art”, *Procedia*

- Manufacturing, Vol. 3, pp. 1838-1848, 2015.
- 13) P. Katsakiori, "Towards an Evaluation of Accident Investigation Methods in Terms of their Alignment with Accident Causation Models", Safety Science, Vol. 47, pp. 1007-1015, 2009.
 - 14) P. Underwood and P. Waterson, "Accident Analysis Models and Methods : Guidance for Safety Professionals", Loughborough University, 2013.
 - 15) O. Svenson, "On Models of Incidents and Accidents", Paper presented at the 7th European Conference on Cognitive Science Approaches to Process Control, Villeneuve d'Ascq, pp. 169-174, 1999.
 - 16) E. Hollnagel, "Understanding Accidents – from Root Causes to Performance Variability", Paper Presented at the 7th IEEE Human Factors Meeting, 2002.
 - 17) F. E. Bird Jr. and G. L. Germain, "Practical Loss Control Leadership", International Loss Control Institute, Georgia, USA, 1985, ISBN 0-88061-054-9.
 - 18) M. Paradies and L. Unger, "Taproot", System Improvements, Inc., pp. 324-325, 2008.
 - 19) L. V. Heuvel, D. K. Lorenzo, L. O. Jackson, W. E. Hanson, J. J. Rooney and D. A. Walker, "Root Cause Analysis Handbook", ABS Consulting, pp. 286-287, 2008.
 - 20) Department of Energy(DOE), Handbook "Accident and Operational Safety Analysis", 2012.
 - 21) The Korea Occupational Safety and Health Agency (KOSHA), KOSHA Guide (P-151-2016), "Technical Guidance of Root Cause Analysis for the Accident", 2016.
 - 22) J. S. Park, "Operation Development Program of KHNP", Korea Nuclear Safety & Security Information Conference, 2018.
 - 23) Guui Station Death Disaster Fact-finding Result Report, "Citizens' Report on Fact-finding Results", 2016.
 - 24) Investigation Committee on the Participation of the National Fatal accident in the Shipbuilding Industry "Accident Report", 2018.