

FMECA와 HAZOP을 활용한 가드레일 코팅차량의 안전성 향상

정의필* · 박현철* · 안병철* · 박영수* · 한덕수** · 전현준**

*울산대학교 산업대학원 · ** (주)캠프

Safety Improvements of Guardrail Coating Vehicle Using FMECA and HAZOP

U.P. Chong* · H.C. Park* · Y.S. Park* · B.C. Ahn* · D.S. Han** · H.J. Chon**

*Graduate School of Industry, University of Ulsan · **KEMP Corporation

Abstract

This study uses FMECA (Failure Modes, Effects, and Criticality Analysis) and HAZOP (Hazard and Operability), which are widely applied in industrial areas, among risk assessment methods, and applies them to the same system. While FMECA evaluates system failure conditions and analyzes risks, HAZOP evaluates the system comprehensively by evaluating operational risks that may occur based on system parameters. According to data released by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport, as of December 2021, the length of roads in Korea is 113,405 km, and the repair of guardrails that have expired must be fixed urgently in terms of traffic safety. Replacing all of these guardrails with new ones requires a very large cost, but if the guardrails are repaired with a vehicle equipped with the G-Save method, carbon emissions are reduced, the repair period is shortened, and great economic benefits can be obtained. However, risk assessment for guardrail coating vehicles has not been done so far. Focusing on this point, this study aims to evaluate the risk of these coating vehicles and describe the results. Finally, we found that the Risk Priority Numbers(RPN) in the FMECA risk assessment were greatly reduced, and 6 risk factors from HAZOP risk assessment and actions were taken.

Keywords : FMECA, HAZOP, Risk Assessment, Guardrail Repair, Coating Vehicle

1. 서론

제품, 설비, 서비스, 활동 등의 위험성평가를 통하여 적절한 예방 조치나 대응 전략을 수립함으로써 사고나 사건을 최소화할 수 있다. 2023년 1월 중대재해법이 발효되면서 위험성평가는 법적으로 요구되고 있고, 규정을 준수하지 않을 경우 법적 문제가 발생할 수 있다.

국내의 연구로는 건설현장, 철도 및 전동차의 위험성평가[1-4], 산업재해 위험성 평가[5-6], 화학물질의 위험성평가[7] 및 시스템의 객체모델링형 HAZOP방법론[8] 등이 있다. 국외의 연구 또한 다양한 분야에서 활발히 이루어지고 있으며, 공정산업의 최적화와 위험성평가[9], 군함탑재 항법레이더 위험성평가[10], 동적사이버 보안

위험성 평가[11] 및 위험 매트릭스의 위험의 양 결정[12] 등의 연구가 꾸준히 증가하고 있다.

본 연구는 위험성평가의 방법 중에서 산업현장에서 많이 적용하고 있는 FMECA(Failure Modes, Effects, and Criticality Analysis)와 HAZOP(Hazard and Operability)을 동일 시스템에 적용하여 종합적인 위험성을 평가한다. 두 가지 방법론을 동시에 적용하는 이유는 다음과 같다. 첫 번째로 FMECA는 제품이나 설비에 초점을 두어 시스템의 장애 상황을 평가하고 위험을 분석하는 반면 HAZOP은 시스템의 파라미터 기반에서 발생할 수 있는 운영상의 위험을 평가함으로써 시스템의 기능적인 측면과 운영상의 측면 모두를 종합적으로 평가할 수 있다. 두 번째로 다양한 분야의 전문가들이 함께 협력하여 위험성을 평가하고 예방 조치

†본 연구는 국토교통부지원(RS-2022-00144120)에 의하여 연구되었음.

†Corresponding Author : Ui Pil Chong, Graduate School of Industry, University of Ulsan, E-mail: upchong@ulsan.ac.kr

Received August 19, 2023; Revision September 21, 2023; Accepted September 27, 2023

를 결정함으로써 전체적인 위험 관리 전략을 개발할 수 있으며, 위험을 효과적으로 관리하고 대응책을 마련할 수 있다.

국토교통부의 발표 자료에 따르면, 2021년 12월 기준 우리나라 도로 길이는 11만 3,405 km이며, 지방자치단체가 관리하는 도로는 83.2%(9만 4,364 km)로 집계되었다[13]. 사용기간이 경과한 가드레일의 보수는 교통안전 측면에서 시급히 해결해야 한다. 이러한 가드레일을 전부 신규로 교체한다면 매우 큰 비용이 필요하지만 G-Save 공법을 탑재한 차량으로 가드레일을 보수 한다면 탄소 배출 저감, 보수기간 단축 및 경제적으로도 큰 이득을 볼 수 있다[14]. 그러나 이러한 가드레일 코팅차량에 대한 위험성평가가 현재까지 이루어지지 않았다. 본 연구는 이점에 착안하여 도로 가드레일의 코팅차량의 위험성평가를 실시하고 그 결과를 기술하고자 한다.

본 연구는 제1장 서론에서 위험성평가의 필요성을 설명하고, 제2장과 3장에서는 FMECA와 HAZOP에 대한 관련연구와 위험성평가의 진행순서를 기술한다. 제4장에서는 위험성평가의 결과 및 분석, 그리고 제5장에서 결론 및 향후연구 순서로 구성되어 있다.

2. FMECA 위험성평가

미국 아폴로 우주선 개발 및 포드자동차에서 고장영향 분석(FMEA)을 사용하였는데, 이 FMEA는 시스템이나 서브시스템의 위험분석을 실시하기 위하여 사용하는 정성적, 귀납적 분석기법으로 필요에 따라 발생확률, 고장의 영향 등을 추가하면 치명도 분석(FMECA)이 된다. 이는 고장의 형태에 따른 영향분석에 따라 확인된 치명적 고장에 대하여 피해와 고장 발생률에 의하여 위험성 분석 및 치명적인 고장을 사전에 예방하고 고장을 피할 수 없는 경우에는 그 피해를 최소화 시키는 대책을 수립하는 방법이다. 이 방법은 중대한 사고에 결정적 영향을 미치거나 직접적인 원인이 되는 단일 고장 모드를 알 수 있고, 제품의 운용 수명을 증가시키기 위하여 부품과 설계 어느 부분이 개선되어야 하는가를 결정하는데 아주 유용하다[15].

2.1 FMECA 관련연구

FMECA 관련 연구를 살펴보면 먼저 국내연구로는 FMECA 기반의 위험도를 적용하고, 전차의 구성 부품별 위험도를 도출하기 위한 방법과 통합위험도를 이용한 부

품별 취약성 분석 방법을 제안하였고[1], 건설 현장에서 착공 이전 단계에서 안전재해 발생 위험성을 진단하는 방법론을 제시하고, 이를 활용하여 안전재해 저감을 위한 대응방안을 수립하여 안전 리스크를 저감함으로써 결과적으로는 안전사고 발생을 예방하는 방안을 제안하였다[2]. 도시철도 고장데이터를 수집 및 분석하여 FMECA를 수행하고, 치명도 분석과정에서 고장모드별 고장영향을 객관적으로 산정하여 적용하는 방법을 제시하였고[3], 전동차 분야에 적합한 FMECA 기법으로서 고장 영향 분석과 치명도 분석을 단계별로 나누어 수행하고 고장 영향의 심각도에 중점을 두어 치명도를 분석하는 기법을 제시하였다[4].

국외연구로는 FMECA의 한계를 극복하기 위하여 새로운 모델을 제안하고 적절한 유지보수 전략으로 공정 산업의 성능을 극대화하기 위한 최적화된 유지 보수 계획을 도출하였다[9]. 군함에 탑재되는 항법레이더의 중요부품 확보와 함선의 작전준비가 가능하도록 항법레이더의 중요부품 교체를 위한 임계시간 간격을 확보하기 위하여 Navigation Radar의 핵심 구성 요소를 결정하는 FMECA 모델을 제안하였다[10].

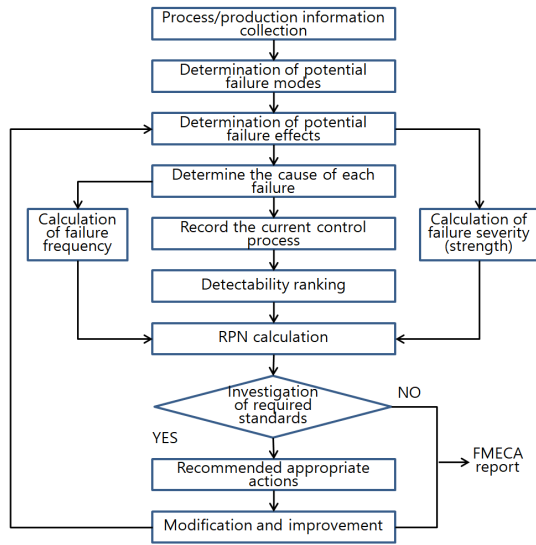
2.2 FMECA 수행절차

FMECA의 수행 절차도는 [Figure 1]과 같으며 다음의 절차를 따라 수행한다[15].

(1) 먼저 분석팀 구성과 필요자료를 구입한다. 팀 구성은 공정운전 및 공정설계 기술자, 정비 및 안전관리 기술자 등 경험이 있는 전문가들이 참여하여야 한다. 또한 분석에 필요한 공정설명서, 설계자료, 공정도면, 물질안전보건자료 안전운전 지침서 등 FMECA에 필요한 모든 자료를 준비해야 한다.

(2) 고장 위험 모드 분석은 고장의 형태에 따른 영향 분석표를 <Table 1-1, Table 1-2>와 같이 작성한다. 식별번호, 기능, 고장형태 및 원인, 고장 반응 시간, 작업 또는 운용 단계, 고장형태에 따른 영향의 분석, 고장발견 방식, 시정활동, 위험성 분석 등을 실시한다.

(3) 위험성 순위 번호(RPN, Risk Priority Number)는 고장결과 중대성(S), 고장발생빈도(O), 고장감지용이성(D)를 모두 곱한 값이다. 이 값이 최종적으로 위험성 순위를 나타내는 것이다.



[Figure 1] Flow diagram of FMECA procedure

3. HAZOP 위험성평가

HAZOP은 화학공장에서 위험성과 운전성을 정해진 규칙과 설계도면에 의하여 체계적으로 위험성을 분석하고 평가하는 방법이다. 이 기법은 평가자들의 기술이나 경험에만 전적으로 의존하지 않고 보다 체계적이고 합리적인 평가 및 분석 방법을 이용함으로써 검토 시 누락 가능성을 배제하고 비교적 객관화된 평가서를 작성할 수 있는 등의 장점들이 인정되면서 위험성평가에 널리 이용되기 시작하였다. 주로 HAZOP은 기존의 공장이나 신규로 설치되는 공정에서 발생될 수 있는 소프트웨어나 하드웨어적 위험요인을 확인하는 과학적이고 체계적인 위험성 평가 방법이다[15].

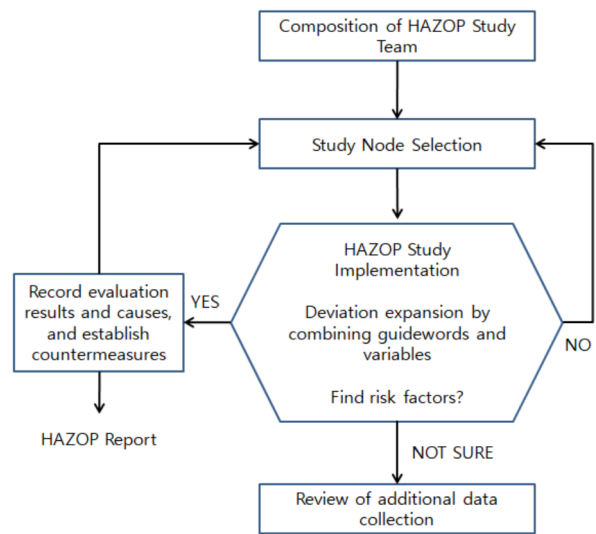
3.1 HAZOP 관련연구

국내 HAZOP 관련 연구로는 산업설비의 위험성평가, 수소 충전소 위험성평가, 해양플랜트의 위험성평가, 객체 모델형 HAZOP방법론 등이 있다. 위험성평가 결과로 운전자의 오작동, 부식에 의한 파열, 배관 및 펌프의 고장 등이 주요 위험 요소로 규명되었고, 완화 전략으로 누출/화재/폭발에 대한 시나리오 규명, 운전자의 관리 및 교육, 안전밸브 설치 등 장치 변경 및 유지 보수 계획 등을 제시하였다[5]. 또한, 수소충전프로토콜에 대해 HAZOP과 LOPA(Layer of Protection Analysis)로 위험성평가를 실시하고 기능안전을 적용해서 국제표준을 업그레이드하기 위한 기준을 제시하였다[6]. 해양플랜트에서 천연가스 수분제거 탈수공정의 위험성평가에 HAZOP 기법을 사용

하여 위험성평가를 시행하였다. 이를 통해 탈수공정 패키지의 잠재적 위험 요인을 파악하고, 알람 설치, 안전 계장 장비 추가 등 위험을 제거 또는 완화시키는 방안을 제시하였고[7]. 효과적인 잠재 위험원 도출을 위한 방법론으로서 해당 시스템을 객체화하여 객체모델형HAZOP 방법론을 제시하였다[8]. 국외 관련 연구로는 데이터가 증가함에 따라 산업 제어 시스템(ICS)의 네트워크 기술과 사이버 보안은 동적 사이버 보안 위험 평가 측면에서 중요한 역할을 하며[11]. HAZOP 워크시트에 대한 정보는 운영 절차, 일일 보고서 및 엔지니어 및 운영자와의 인터뷰를 통해 수집하고, 예측을 기반으로 한 위험 매트릭스에서 위험의 양을 결정하고 이와 관련하여 필요한 제안을 하였다[12].

3.2 HAZOP 수행절차

HAZOP의 수행절차는 [Figure 2]와 같다[15].



[Figure 2] Flow diagram of HAZOP procedure

HAZOP은 아래와 같이 4단계로 간략히 설명한다. 1단계는 HAZOP 팀은 사업장의 여건에 맞게 구성하며 팀장 주도하에 브레인스토밍 방식으로 진행한다. 2단계는 Study Node(검토구간)의 선정으로 P&ID 상의 공정설비 평가가 적절히 이루어질 수 있도록 구분해야 한다. 제3단계는 이탈의 전개단계로서 공정 이탈은 공정변수(Parameter)와 가이드워드(Guide word)의 조합으로 전개된다. 이탈을 전개하기 위하여 이탈 행렬 매트릭스(Deviation matrix)를 구성한다[15]. 마지막 단계로서 HAZOP 검토 결과 분석표를 작성한다. 이 분석표에는 이탈, 원인, 결과, 현재 안전조치현황, 위험등급, 개선권고 사항을 포함하여야 한다.

4. 위험성평가 결과 및 개선 대책

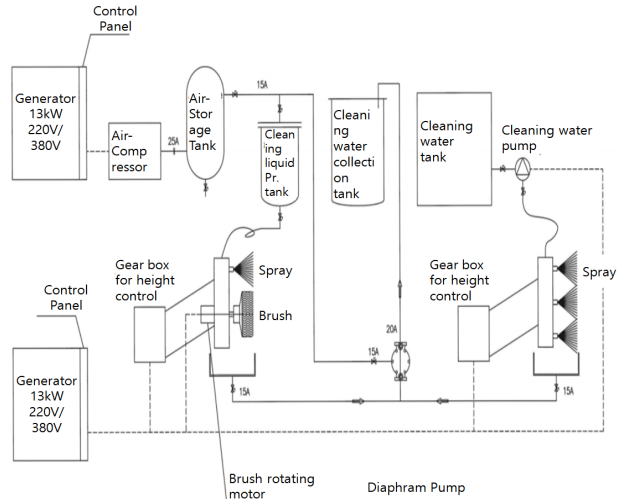
4.1 G-Save 공법 탑재 세척차량 및 코팅차량

위험성 평가의 대상이 되는 세척차량 및 코팅차량의 P&ID 는 [Figure 3] 및 [Figure 4]에 나타난 바와 같다[16].

[Figure 3]은 가드레일 세척 차량의 P&ID이며, 차량의 세척 운행은 다음의 내용을 포함한다. 가드레일 녹을 제거하는 세척에 사용되는 세척액은 희석 없이 원액을 사용하며 표면에 발생된 산화물, 이물질은 노즐을 통하여 깨끗하게 세척한다. 표면에 물기가 없도록 고압 공기압축기로 강제 건조하고 건조 후 표면에 아연도금 백청가루 및 세척액 잔존 가루가 있으면 브러쉬 고압압축공기로 깨끗하게 제거한다.

[Figure 4]는 가드레일 코팅차량의 P&ID이다. 코팅차량은 개방형 가드레일에는 적용이 불가능하고 2W 및 3W 가드레일에 적용가능하다. 기어 박스 높이 제어를 통하여 코팅 용액을 분사총(Spray gun)으로 분사하여 코팅한다. 코팅과정에서 용액의 비산 및 오염 최소화를 위해 작업공

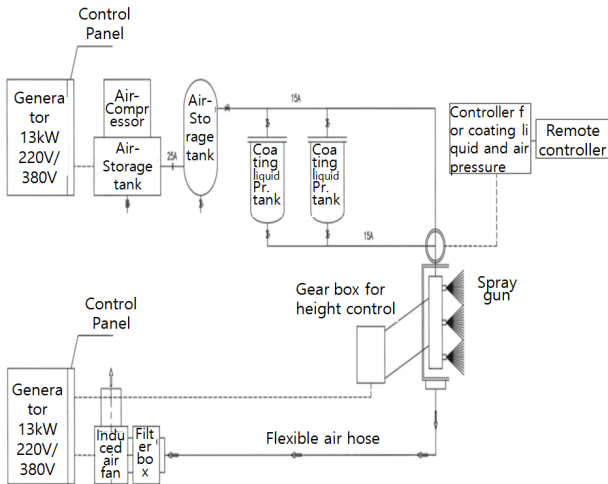
간은 도료집진기를 효율적으로 배치 가동하여 비산먼지를 최대한 포집한다. 도막 두께는 시공 후 1시간 뒤 표면 두께를 확인하며, 최종적으로 G-Save 코팅작업 완료는 표면 건조 상태로 확인한다[17].



[Figure 3] G-Save Cleaning System

<Table 1-1> FMECA for guardrail coating vehicle

Item (Fuction/Req` t)	Potential failure mode	Potential failure effect	Severi ty (S)	Potential cause/failure mechanism	Occurr ence rate (O)	Current process control prevention	Curr. proc. cont. detection	Detection (D)	RPN	Action
1.Coating process	Manpower: 6 people for central guardrail application, 5 people for senior guardrail application (same as above)									
2-1.Apply air compressor operation manual. ..Maintain margin of generator supply against power demand.	Air compress or stopped (breakdown)	Applicati on delay :Wash/ap plication delay per hour (150 m/hr -> 70 m/hr)	7	Driving at full load, process stop due to excessive power consumption of the process (compressor) for the generator "	8	Compressor shutdown	S/D due to insufficient power for compressor use	10, Discharge pressure drop (rapid drop from 6 bar to 1-2 bar), compressor body monitor turns off "	560	.Equipped with an inverter to improve compressor power efficiency. Installation of additional generators for stable power supply
2-2.Apply equipment assembly manual. Sequentially assemble coating equipment	Assembly of spray equipment takes a long time.	Long preparati on time	7	Due to the delay in the start time of government office work due to the preparation time required (equipment installation, etc.), the number of working days agreed with the government agency was exceeded	9	Improvement of fastening and assembly from manual tools to power tools	check with your eyes	3	189	.Transport after partial fastening (like ship blocks, one additional transport vehicle is required) C-F1. Study to make coating equipment in line by increasing vehicle size and to be used immediately after moving



[Figure 4] G-Save Coating System

4.2 위험성평가 결과

위험성평가는 설계 단계부터 고려된 FMECA 위험성평가를 수행 후에 HAZOP 위험성평가를 세척차량과 코팅차량에 대하여 각각 실시하였다. 중요도를 고려하여 많은 결과 중 코팅차량의 결과를 설명한다. <Table 1-1>, <Table 1-2> 및 <Table 2>는 FMECA 위험성평가 결과이며, <Table 3>, <Table 4>, <Table 5> 및 <Table 6>은 HAZOP의 위험성평가 결과이다.

본 연구는 ‘가드레일 코팅차량’의 인적 고위험성을 고려

해 전주기 시스템안전을 적용하기로 했다. 즉 개념설계에서 적용하는 PHA 위험성 평가는 이미 완료되었고[17], 기본설계에서는 FMECA, 상세설계에서는 HAZOP 기법을 적용하였다. 기본설계 단계에서는 FMECA 분석팀을 사업주 1명, 위험성평가 전문가 1명, 관리감독자 1명, 생산관리자 1명, 근로자 1명으로 구성하여 브레인스토밍 방식으로 결정하였다. <Table 1-1>과 <Table 1-2>에서 보는 바와 같이 코팅 공정의 공기압축기 용량이 부족했던 것을 인버터와 발전기 각 1개를 추가 설치한 결과(2023. 3/12), Overall risk(RPN)가 560에서 40(요구되는 RPN 기준 <100)으로 낮아져 공정 안정화가 이루어졌다. 또한, 부분체결 후 운반하여 작업 개시하는 차량으로 특화 개발하면 Overall risk를 189에서 72로 낮출 수 있는 것으로 평가했다. 코팅 공정에서 공기 압축기가 정지되는 경우와 도포 설비를 수동으로 조립하는 경우 모두 조치가 필요한 것으로 나타났다. <Table 2>에서 자동화에 필요한 조치는 좀 더 연구를 필요로 한다.

<Table 3>에서는 상세설계 위험성평가 기법인 HAZOP 기법을 적용하였는데 이 단계에서는 Team을 사업주 1명, 위험성평가 전문가 1명, 관리감독자 1명, 생산관리자 1명, 근로자 1명으로 구성하여 브레인스토밍 방식으로 결정하였다. <Table 4>는 <이탈 행렬 매트릭스>로서 파라미터 기반 위험성 평가를 나타낸다. <Table 5>는 코팅공정의 HAZOP 검토결과 분석표로, HAZOP 검토를 수행함에 있어서 잠재

<Table 1-2> FMECA for guardrail coating vehicle

Action result	Severity (S)	Occurrence (O)	Detection (D)	RPN	Risk level
1 additional inverter and generator (capacity 13KW) installed (two generators are operating simultaneously during normal operation)	2	2	10	40	*AC
Transport and installation using power tools and block method	6	4	3	72	AC
Design layout concept.	-	-	-	-	Under study

*Risk level; UA: UnAcceptable, TBI: To Be Improved AC: ACceptable

<Table 2> FMECA report

Action no.	Process	Failure mode	Action plan	Action completion	Note
C-F1	Coating	To be studied to make coating equipment in line by increasing vehicle size and to be used immediately after moving	Study and try to contemplate additional national tasks.	-	For automation

<Table 3> HAZOP Node list

Node no.	P&ID no.	Study node	Note
1	KEMP-spray-001	G-Save coating system	G-Save

<Table 4> Deviation matrix of node no.1

Node no.	Parameter	Design intent	No	Low	High	Some	Parts of	As well as	Reverse	Other than
Node 1	Flow	3.5m ³ /l as G-Save	O	O	X	X	X	X	O	X
	Pressure	0.9bar (by local PG with regulator)	X	O	X	X	X	X	X	X
	Temperature	Room temp.(5~40℃)	X	O	X	X	X	X	X	X
	Level	10~90%(G-Save storage tank, 2ea)	X	O	O	X	X	X	X	X
Reaction, time, step, composition, phase, addition, mixing, external fire, agitation : x for all items										

<Table 5> HAZOP results of node no.1

P&ID no.	KEMP-spray-001	Study node	G-Save coating system
Process name	G-Save coating process	Design intent	Apply G-Save evenly over the entire area at 3.5m ³ /l

Deviation no.	Deviation	Cause	Consequence	Safe guard	Frequency	Severity	Risk level*	Action no.	Action
1	No/Low flow	Piping clogged with foreign substances made of zinc powder (piping 15A)	Reduced efficiency and then suspended the coating	Close the discharge valve to release the pressure, and clean the pipe and spray gun with air or a wire tool.	2 1 time/3 hours (6 hours required for 1 time)	3	6 (TBI)	C-H1	1.Wear safety glasses, mask and gloves and have removing cloth. 2.Install paint filter net.
2	Reverse flow	Not possible							
3	Low pressure	1. Decreased sealing force in the pressure transfer tank, 2. Failure of regulator 3. Discharge pressure drop from failure of compressor 4. Spray of excessive amount, etc.	Reduced efficiency and then suspended the coating.	1. Replace the inner rubber seal. 2.Replace the regulator 3.Maintain compressor. 4.Adjust the air pressure for spray.	3	2	6 (TBI) If it is 7 bar due to regulator or failure.	C-H2	Establish the procedure. (First of all, after the compressor is stopped, the pressure is released.: the lower valve of air storage tank is opened to release the pressure.)
4	Low temp.	Low due to room temperature	Unable to work	Comply to work procedure.	2 summer(July~September), winter(December~February)	3	6 (TBI)	C-H3	Train procedure, work according to the specification using weather information.
5	Low level	When used up.	Solution spraying is not possible and work is not possible.	Convert to manual position and replenish the solution to 2 paint supply tanks.	2 2times/day(6 hours)	3	6 (TBI)	C-H4	Automation long-term review (LIA, etc.)
6	High level	Over-replenishment	Risk of fire due to overflow (using ethanol, IPA as the solvent)	Manually replenish solution.	2 2times/day(6 hours)	2	4 (UA)	C-H5	Automation long-term review (LIA, etc.) and fire extinguisher (foam type) provided

Deviation no.	Deviation	Cause	Consequence	Safe guard	Frequency	Severity	Risk level*	Action no.	Action
7	Leak	Abrasion of quick joint (made of plastic)	Direct exposure to workers	-	2	3	6 (TBI)	C-H6	1.Wear safety glasses, a mask and gloves, and have removing cloth. 2.Maintain quick joint every 6 months.

*Risk level; UA: UnAcceptable, TBI: To Be Improved AC: ACceptable

<Table 6> HAZOP report

Action No.	Risk level (Before/After)	Action	Responsible	Due date	Status
C-H1	TBI/AC	1.Wear safety glasses, mask and gloves and have removing cloth. 2.Install the paint filter net.	DS Han	23Jul.`23	Conducting safety training and applying safety equipment checks
C-H2	TBI/AC	Establish the operation procedure.	DS Han	29Jul.`23	Establishment of procedures and training of key personnel for work and application
C-H3	TBI/AC	Train procedure, work according to the specification using weather information.	DS Han	1Aug.`23	Work procedure paper review and distribution
C-H4	TBI/AC	Automation long-term review (LIA, etc.)	DS Han	30Nov.`23	Partial automation review and facility engineering in progress
C-H5	UA/AC	Automation long-term review (LIA, etc.)	DS Han	30Nov.`23	Partial automation review and facility engineering in progress
C-H6	TBI/AC	1.Wear safety glasses, a mask and gloves, and have removing cloth. 2.Maintain quick joint every 6 months.	DS Han	23Jul.`23	Establish procedures related to safety equipment verification and preventive maintenance training for key operators

*Risk level; UA: UnAcceptable, TBI: To Be Improved AC: Cceptable

위험의 원인이나 결과에 대해 사후조치에 대한 점검에도 유용하게 이용할 수 있도록 체계적으로 정리하였다. 위험등급(risk level)은 예상되는 원인과 결과에 따른 위험등급 순위를 기록한다. 위험등급은 사고가 발생할 수 있는 빈도수와 중대성을 조합하여 위험성을 추정하였고, 이 위험성 추정 결과에 따라 허용할 수 있는 위험(AC)인지, 허용할 수 없는 위험(UA)인지를 결정하였다.

<Table 6>은 ‘가드레일 코팅차량’에 대해 HAZOP을 실시한 결과를 최종적으로 정리하였다. 코팅공정에 존재하는 위험요소들과 공정의 효율을 떨어뜨릴 수 있는 운전상의 문제점을 찾아내어 그 원인을 제거하도록 하였다. 특히, 위험 요소 6가지를 찾아내고 각각에 대해 조치를 함으로써 시스템의 안전성을 향상시켰다.

FMECA위험성평가에서는 시스템의 위험성평가 지표인 RPN 수를 계산하여 <Table 1-1>의 2-1에서 560에서 40으로 감소하였고, 2-2에서는 RPN 189에서 72로 위험도를 감소시켰다. HAZOP 위험성 평가에서는 프로세스의 매개변수를 분석하여 위험성을 분석하는 정성적 위험성평가로서 위험요소 6가지를 찾아내고 각각에 대해 조치를 함으로써 시스템의 안전성을 향상시켰다. 이 두 가지 위험성평가 방법론을 동일 시스템에 적용함으로써 종합적인 시스템의 안전성 향상을 가져 왔다. 가드레일 코팅차량의 안전성 향상과 만족도를 높이기 위해서는 위험성 평가 외에도 추가적으로 도로법규 및 안전 규준 준수, 정기적인 점검 및 유지 보수, 자동 비상 제동, 전방 충돌 경고 등을 통하여 차량과 도로의 안전성을 높이는 데 도움이 될 것이다.

5. 결론

위험성평가의 법제화는 산업안전보건 이념의 큰 전환이자 산업안전보건 패러다임의 전환이라 할 수 있다.

6. References

- [1] H. G. Hwang, J. W. Kang, J. S. Lee(2015), "A development of component vulnerability analysis program for armored fighting vehicle using criticality based on FMECA." *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, 19(8):1973–1980.
- [2] S. J. An, S. H. Song(2012), "Integrated safety risk assessment and response preparation on construction site formwork using FMECA method." *Journal of Korea Safety Management & Science*, 14(3):39–48.
- [3] G. Park, K. Choi(2023), "Reliability improvement of points system using FMECA." *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, 72(5):678–687.
- [4] S. R. Kim, Y. S. Moon, K. H. Choi(2015), "FMECA procedure for failure analysis of train high-speed circuit breaker." *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 16(5):3370–3377.
- [5] C. You, J. Kim(2018), "HAZOP study for risk assessment and safety improvement strategies of CO₂ separation process." *Korean Journal of Chemical Engineering*, 56(3):335–342.
- [6] J. Park, D. Park, C. Chae, J. Heo, K. Park(2022), "Improvement of hydrogen fueling protocol by HAZOP and LOPA." *Korean Journal of Hazardous Materials*, 10(1):82–90.
- [7] H. Noh, S. H. Park, S. Cho, K. Kang, H. Kim(2020), "A case study on the risk assessment for offshore plant solid desiccant dehydration package by using HAZOP." *Journal of the Korean Society of Industry Convergence*, 23(4):560–581.
- [8] J. G. Ohn, S. Y. Moon(2017), "A study on HAZOP by object model methodology." *Journal of Korean Society for Urban Railway*, 5(4):1059–1065.
- [9] N. Pancholi, M. G. Bhatt(2016), "Multicriteria FMECA based decision-making for aluminium wire process rolling mill through COPRAS-G." *Journal of Quality and Reliability Engineering*, 2016(8421916):1–8.
- [10] B. Suharjo, O. S. Suharyo, A. Bandono(2019), "Failure Mode Effect and Critically Analysis(FMECA) for determination time interval replacement of critical components in warships RADAR." *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 97(10):2861–2871.
- [11] Q. Zhang, C. Zhou, Y. C. Tian, N. Xiong, Y. Qin, B. Hu(2018), "A fuzzy probability bayesian network approach for dynamic cybersecurity risk assessment in industrial control systems." *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 14(6):2497–2506.
- [12] R. Hokmabadi, A. Karimi(2023), "Application of operation and risk study technique (HAZOP) in assessing safety and health risks: A case study in CGS station." *ICRSE2023*, 2023:1–8.
- [13] Ministry of Land, Infrastructure and Transport Press Release(2022).
- [14] KEMP Corporation(2020, January 31), Method for surface treatment of hot-dip galvanized metal for surface repairing and improving corrosion resistance. Patent No. 1020743260000.
- [15] S. J. Song, J. W. Lee(2019), Method of risk assessment and analysis. Sung An Dang.
- [16] KEMP Corporation(2021), The zinc restoration technology. The Report of Technical Descriptions.
- [17] U. P. Chong, H. C. Park, Y. S. Park, B. C. Ahn, D. Y. D. Hwang, H. J. Chon, D. Y. Kim(2022), "Preliminary hazard analysis for vehicles with G-save for guardrail maintenance." *The Korea Institute of Surface Engineering 2022 Fall Meeting*, Kwang Ju, Korea.

저자 소개



정 의 필

뉴욕대학교 전자공학 박사 취득.
現) 울산대학교 IT융합학부 재직.
관심분야: 고장 및 안전 진단, 고래 콘텐츠 개발



안 병 철

울산대학교 산업대학원 안전관리 석사 취득.
前) 울산대학교 산학협력단 연구교수.
現) 울산광역시 동구 안전총괄과 안전관리자 재직
관심분야: 산업안전 및 건설안전



한 덕 수

울산대학교 화학공학과 학사 취득.
現) ㈜캠프 수석연구원으로 재직 .
관심분야: 무기 바인더 합성 및 개발, Zinc flake coating 개발, 아연 도금 후처리제 개발, 화학적 전처리제, 방식용 무기 zinc aerosol 개발



박 현 철

부산대학교 경영컨설팅학(안전보건경영전공) 박사 취득.
前) 한국Solvay(주) SHEQ총괄 상무
現) 울산대학교 산업대학원 연구교수
관심분야: SHEQ경영, 안전공학, 위험성평가, 시스템안전



박 영 수

충남대학교 대학원 물리학과 석사 취득.
現) 울산대학교 산업대학원 겸임교수 및 알티씨 대표로 재직.
관심분야: 자동화시스템 개발, 레이저 응용기술 개발, TRIZ



전 현 준

홍익대학교 디자인학과 학사 취득.
홍익대학교 경영학과 석사 재학.
現) ㈜캠프 대표이사로 재직.
관심분야: 현장 제도금 기술 비즈니스 모델 개발, 제조업 안전 디자인, 아연도금 후처리제 개발, 화학적 전처리제 및 방식용 무기 zinc aerosol 개발