



G-SAVE 공법 탑재 차량의 예비위험성평가

정의필^{a,*}, 박현철^a, 박영수^a, 안병철^a, 한덕수^b, 전현준^b

^a울산대학교 산업대학원, ^b(주)켄프

Preliminary Hazard Analysis of Vehicle with G-SAVE Technology

Ui Pil Chong^{a,*}, Hyun Chul Park^a, Young Soo Park^a, Byung Chul Ahn^a,
Deok Soo Han^b, Hyeon Jun Jeon^b

^aGraduate School of Industry, University of Ulsan, Ulsan, 44776, Korea

^bKEMP Co., Ltd, 87, Hyomun 2-ro, Buk-gu, Ulsan, 44252, Korea

(Received 31 May, 2023 ; revised 20 July, 2023 ; accepted 31 July, 2023)

Abstract

The structures for road safety are guard rails that protect the cars and passengers. If an accident occurs on the roads after a long period of installation, it may escalate into a major disaster. In order to repair many guard rails, the existing repair method of replacing them with new ones requires enormous financial resources. To solve this problem, the G-SAVE method was developed to repair the guard rail without replacing them. This method removes the rust on the surface of the guard rail and then performs ambient-dip galvanizing coating on it without replacing the new ones. No studies or reports have yet been made on the risk assessment of harmful substances, vehicles for these entire processes. Therefore, this paper focuses on risk assessment using the PHA (Preliminary Hazard Analysis) technique and conducts risk assessment for concept design stage of the coating vehicles.

Keywords : PHA; G-SAVE; Risk Assessment; Cleaning Vehicle; Coating Vehicle.

1. 서 론

도로안전시설이란 도로교통의 안전하고 원활한 소통을 확보하며 도로의 미비한 구조 상태를 보완하여 도로 이용의 안전을 도모하기 위해 설치하는 시설로서, 가드레일, 조명시설, 시선 유도시설, 도로반사경, 충격흡수시설, 과속 방지시설, 신체장애자를 위한 시설 등이 있다. 그중 방호울타리의 한 종류인 가드레일은 차량이 주행 중 진행 방향을 잘못 잡아 길 밖, 대향 차로 또는 보도 등으로 이탈하는 것을 방지하는 동시에 승차자의 상해 및

차량의 파손을 최소화 줄이고 차량을 정상 진행 방향으로 복원시키는 것을 주목적으로 설치되는 것이다. 또한 부수적으로 운전자의 시선을 유도하며, 보행자의 무단 행동을 억제하는 등의 기능을 갖추고 있으며, 우리나라에서는 길 밖으로 이탈하는 차량의 방호를 위한 방호울타리 종류 중 거의 대부분이 가드레일을 사용하고 있다[1].

가드레일은 일반적으로 추락이나 중앙선 침범 등으로 인한 사고에서 2차 피해를 예방하고 보행자와 동물을 보호하기 위하여 설치하는 안전 시설물로서 국민 생활의 안전 관점에서 매우 중요하며 특히 가드레일은 도로 이용자들의 안전을 지켜주는 매우 중요한 역할을 하고 있다. 가드레일은 도로 기준으로 중앙분리대용과 노측용(교량용) 가드

*Corresponding Author : Ui Pil Chong
Graduate School of Industry, University of Ulsan
Tel: +82-01-3560-8420; E-mail: upchong@ulsan.ac.kr

레일로 구성되며 도로의 설계속도에 따라서 가드레일 등급이 구분되어 있다. 국토교통부의 발표 자료에 따르면, 2021년 12월 기준 우리나라 도로 길이는 11만 3,405 km이며, 정부가 관리 중인 고속 및 일반국도가 전체 도로의 16.8%를 차지하고 있으며 지방자치단체가 관리하는 도로는 83.2%(9만 4,364 km)로 집계되었다[2]. 기준미달 가드레일 개량사업이 더디게 추진되는 동안 전국의 고속도로에서는 가드레일 관련 사고가 꾸준히 발생되고 있으며, 설치기간이 많이 경과한 가드레일은 레일 자체에 부식으로 단면이 감소하거나 볼트/ 너트 연결부가 느슨해지거나 탈락한 상태에서 사고가 발생할 경우 중대재해로 확대될 수 있다. 부식은 화학적, 전기화학적 반응, 마찰을 비롯한 다양한 요소들에 의해 점진적으로 진행되며 변색 및 부식생성물과 같은 이상 현상으로 소재를 열화시킨다. 특히, 아연도금강판의 경우 표면의 5% 산화철이 보일 때까지의 기간을 최초 유지보수시간으로 하여 소재의 수명 유지를 위해 보수가 필요한 시간으로 기준을 정해 두었다[3]. 사용기간이 경과한 가드레일의 보수는 교통안전 측면에서 시급히 해결해야 한다. 이러한 가드레일을 전부 신규로 교체한다면 매우 큰 비용이 필요하지만 본 논문에서 제안하는 G-SAVE 공법을 적용하여 가드레일을 보수한다면 탄소배출 저감에다 보수기간도 짧아지고 경제적으로도 큰 이득을 볼 수 있다.

용융아연도금 공정개선으로서 [4]에 의하면 플러스액의 첨가제에 의한 용융아연도금 공정을 개선한 연구가 있으나 본 논문에서 제안하는 설비의 개선으로 용융아연도금을 공정을 개선한 이전 연구는 없었다. 따라서 본 논문에서는 가드레일의 필요성과 문제점 등을 살펴보고 문제점을 해결하는 방안으로 G-SAVE 공법을 소개하고, 이 공법을 탑재한 차량의 위험성평가를 수행하고 평가 결과를 분석한다.

2. G-SAVE 공법

도로에 방대하게 설치된 가드레일은 향후 부식 문제로 전량 교체를 고려하는 것은 막대한 국가적 예산 및 재원을 필요로 함으로 이러한 문제를 해결하기 위하여 표면부식 관점에서 가드레일을 신규로 교체하지 않고 보수하는 G-SAVE 공법이라는 보수코팅제 및 적용기술을 개발하였다[5]. 이 공법은 2021년 국토교통부 익산지방국토관리청으로부터

최우수기술로 선정된 기술로서 도로의 가드레일에 감량된 아연을 현장에서 상온건조형 무기바인더(접착제)와 판상아연분말을 혼합 및 도포하여 가드레일의 수명을 연장하는 기술이다. 이 공법의 중요한 특징은 자일렌, 톨루엔 등의 유해화학물질이 전혀 포함되지 않으며, 열화문제를 해결하고, 강력한 부식방지 효과를 제공하며, 신규 가드레일 생산시 발생하는 폐수, 탄소배출을 저감하여 근본적인 환경 문제를 개선한다. 가드레일 등의 도로 구조물은 용융아연도금을 철 위에 형성하여 철을 보호하게 되는데 일반 지역에서는 0.7~2.1 $\mu\text{m}/\text{년}$, 높은 부식지역 2.1~4.2 $\mu\text{m}/\text{년}$ 으로 아연금속이 해마다 감량되어 부식에 따른 가드레일 사용수명이 한정된다[5]. 초기엔 풍부한 아연량으로 장기간 표면이 유지되다 시간이 경과할수록 아연감소로 급격히 녹 발생이 진행되는데 부식의 흐름은 볼트의 부식, 레일 상부 부식, 레일 전면 확대 부식으로 이어진다. 이러한 부식을 방지하기 위하여 G-SAVE공법을 탑재한 차량이 가드레일에 코팅을 하게 된다. 또한, G-SAVE 공법은 신규 가드레일 교체 대비 99.4%의 탄소저감 효과를 가지고 있다[6].

3. 위험성평가

위험성평가(Risk Assessment)란 위험을 미리 찾아내어 사전에 그것이 얼마나 위험한 것인지 평가하고 그 평가의 결과에 따라 예방대책을 세우는 것이다. 재해발생의 잠재 유해위험요인을 찾아내고 재해가 발생하는 경우 그 재해의 강도와 빈도를 평가하여 기계설비나 작업절차 등을 어떻게 바꾸면 위험성이 제거되거나 감소될 것인가를 판단하고 시급성에 따라 개선 조치를 해나가는 것이다.

위험요인을 찾는 효과적인 방법은 PHA(Preliminary Hazard Analysis), Checklist, HAZOP, FMECA(Failure Modes Effects and Criticality Analysis), K-PSR(KOSHA-Process Safety Review), 4M(Man, Machine, Media, Management)기법 등과 같은 정성적 위험성평가 방법과 FTA(Fault Tree Analysis), ETA(Event Tree Analysis), CA(Consequence Analysis)와 같은 정량적 위험성평가 방법이 사용되고 있다[7]. PHA(Preliminary Hazard Analysis)는 예비위험분석기법으로 시스템 개발단계, 즉 모든 시스템 안전프로그램의 최초 단계(개념설계)에서 분석하는 기법으로 초기에 위험을 정성적으로 확인하는데 효과적인 방법으로서

위험을 일찍 인식하여 위험이 나중에 발견되었을 때 드는 비용을 절약하고 숙련된 기술자가 다른 위험분석법에 비해 적은 노력으로 비교적 간단히 수행할 수 있다는 것에 장점이 있다[7]. PHA 수행절차는 첫째, 사용하는 장비와 물질 등의 자료들을 수집하는 ‘검토 준비’단계 둘째, 바람직하지 않은 결과를 초래하는 독성물질 누출, 화재 및 폭발 등의 유해위험요인으로 나타나는 주요 리스크의 ‘검토 수행’단계 셋째, 공정안전에 대한 충분한 지식이 있는 엔지니어들이 유해위험요인, 원인, 주 영향, 유해위험요인 범주, 개선/예방 순으로 ‘결과의 문서화’ 단계로 이루어진다.

3.1 시공 전 가드레일 표면전처리 세척

3.1.1 가드레일 전처리 세척 장비

그림 1은 가드레일 세척 차량의 평면도이며, 차량의 세척 운행은 다음의 내용을 포함한다.

- 1) 가드레일의 볼트 누락 구간은 선제적 볼트 체결한다.
- 2) 세척액 ROC.3는 희석 없이 원액을 사용하며 표면에 발생된 산화물, 이물질을 깨끗하게 세척한다.
- 3) 표면에 물기가 없도록 고압 공기압축기로 강제 건조한다.
- 4) 건조 후 표면에 아연도금 백청가루 및 ROC.3 잔존가루가 있으면 브러쉬 고압에어로 깨끗하게 제거한 후 깨끗한 검은색 부직포로 다시 닦아내서 제거 정도를 재확인한다.

3.1.2 PHA 대상 가드레일 코팅 장비

그림 2는 가드레일 코팅 차량의 평면도를 그린

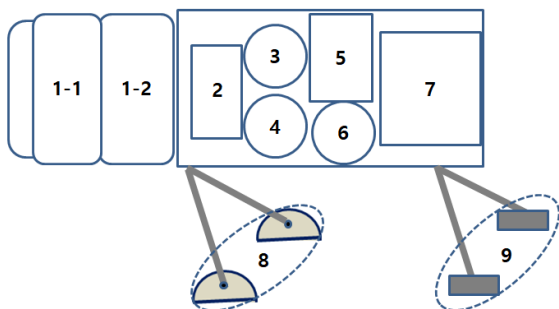


Fig. 1. Layout Design of Cleaning vehicle. 1:Driver seat, 2:Compressor, 3:Tank, 4,6:Wash equip, 5:Generator, 7:Water tank, 8:Wash equip., 9:Water cleaning equip.

것이며, 가드레일의 코팅 과정은 다음과 같다.

- 1) 하절기 동절기 구분 없이 코팅은 2회를 원칙으로 한다.
- 2) 개방형 가드레일은 적용이 불가능하고 2W, 3W 가드레일에 적용가능하다.
- 3) G-SAVE 코팅작업 완료는 표면 건조 상태로 확인한다.
- 4) 코팅과정에서 용액의 비산 및 오염 최소화를 위해 작업공간은 도료집진기를 효율적으로 배치 가동하여 비산먼지를 최대한 포집한다.
- 5) 도막 두께는 시공 후 1시간 뒤 표면 두께를 확인한다.

3.2 전처리 공정 및 코팅 공정 블록다이어그램

그림 3은 G-SAVE 공정의 블록다이어그램으로 전처리 단계(Preprocessing stage)와 코팅 단계(Coating stage)로 나누어 설명한다. 그림 3처럼 전처리 단계에서는 코팅 차량과는 별도의 차량으로 세척에 필요한 모든 장비를 갖추고 가드레일 표면을 물로 세척하고 공기로 건조를 한다. 건조가 완료된 후에 가드레일 코팅 단계로 진입하여 별도의 차량으로 가드레일에 코팅 액을 분사하여 충분한 코팅이 이루어지도록 진행한다.

3.3 PHA 분석 결과

표 1과 표 2는 전처리 차량 및 코팅 차량의 위험성 평가 분석 결과표이다. 위험요인으로서 누출, 화재, 폭발을 상정하고 차량 자체에 대해서는 차량 충돌을 상정하였다. 사고 결과로서 화재와 충돌이 발생했을 때 위험 범주와 조치를 표시하였다.

표 1에서 유해 위험 범주는 무시할 수 있음(A), 별로 중요하지 않음(B), 위험한 상태(C), 중대한 재해

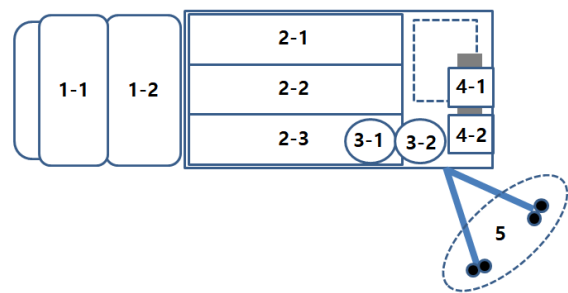


Fig. 2. Layout Design of Coating vehicle. 1:Driver seat, 2:Generator, Comp., Air tank, 3:Solution bottle, 4:Dust collector, 5:Coating equip.

▷ Block diagram of preprocessing and coating processing using G-SAVE

<Preprocessing stage>

<Coating stage>

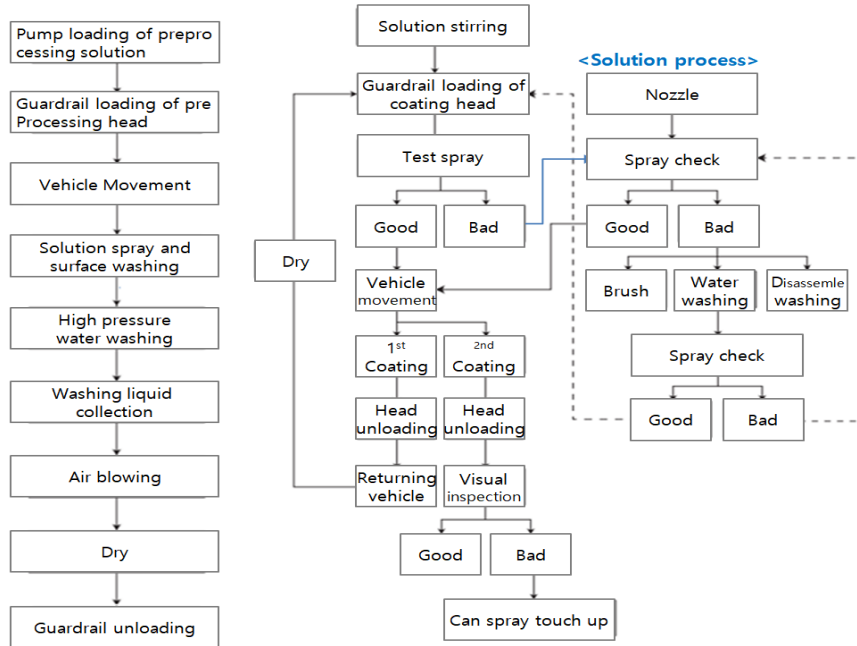


Fig. 3. Process Block Diagram using G-SAVE Method.

(D)로 분류하였다. 여기서 요인 범주 A와 B에 속한 개선 및 예방 수단은 개념설계를 고려한 배치도 등에 반영한다.

가연성과 비위험물로서 크게 문제되지 않으나 가드레일 자체에 묻어 있는 녹에 대한 위험물에 대해 대책이 필요하다.

3.4 물질안전보건자료(MSDS) 분석

3.4.2 G-SAVE 코팅제

3.4.1 녹 제거제(표면 세척)

표 2에 보는 바와 같이 녹 제거제인 ROC.3는 비

표 3에 보는 바와 같이 G-SAVE 코팅제는 도포제인 규산에틸을 제외한 대부분 코팅제가 위험물질로서 주의가 요구된다. G-SAVE공법 코팅 공정

Table 1. Results of PHA Evaluation.

Hazard	Cause	Consequence	Hazard Category	Recommendation
Leak, fire, explosion	Overheat of compressor	Fire	B	-
	Leak of G-SAVE solution	Fire	C	Work in the well-ventilated spaces
	Leak of ROC.3 solution	Fire	A	-
	Leak and spark of generator's fuel	Fire	C	Install an automatic shutoff device for over-current/over-voltage
	Flammable limit of collected dust	Fire	C	Easy replacement and periodic check with double filter installation of the dust collector
Car collision	Poor vehicle control	Collision	C	Easy to recognize by installing signboard
	Poor vehicle safety devices	Collision	C	.Install the base frame and fix the major equipment

A: negligible B: marginal C: critical D: catastrophic

Table 2. Results of ROC.3 Evaluation.

Item	Major ingredient	Composition (%)	Note
ROC.3	H ₃ PO ₄ (Phosphoric acid)	18-20	Liquid, Non-flammable, Non-hazardous materials
	C ₆ H ₈ O ₇ (Citric acid)	9-10	
	Nonionic surfactant	4-5	
	Water(H ₂ O)	68-75	

Table 3. Results of G-Save Coating Liquid Evaluation.

No.	Item	Ingredient, Class	Flash point (°C)	Flammable limit (%)	Note
1	Poly silicate (Coating material)	Polyethylene, -	45	1.3 - 23	Liquid (Non-dangerous good)
2	Ethanol (Solvent)	Alcohol, 4 th class	13	3.1 - 27.7	Liquid (Hazardous material)
3	Polishing glue	Alcohol, 4 th class	23	2 - 12	Liquid (Hazardous material)

에 사용되는 물질은 전처리과정에서 유해화학용제(유무기산 세정제)가 사용되며, 코팅과정에서 사용되는 유해화학용제(Poly Silicate, Ethanol, 판상아연 등)는 모두 각별한 주위가 요구된다. 이들 화학제품들은 사람과 접촉될 시 위험한 환경에 노출될 수 있기 때문에 MSDS의 취급, 운반, 저장, 사용, 폐기에 이르기까지 전 과정에 대하여 안전 규정을 잘 준수하여야 한다.

4. 결론 및 향후 연구

가드레일 연속식 코팅처리 공정의 안전한 설계를 위해, PHA기법을 포함한 위험성평가를 요약하면 다음과 같다. 먼저 설계-운전팀에서는 산업체에서 개발하고자 하는 ‘가드레일 연속식 코팅공정’ 제작과 운전에서 사용될 설비 및 물질(MSDS 포함)에 대한 개념설계를 고려한 레이아웃 안을 작성하였다. 위험성 평가를 수행하는 대학연구팀은 레이아웃 안을 PHA기법을 적용하여 전처리 차량과 코팅 차량에 대하여 화학물질 누출, 화재, 폭발 및 차량 충돌 등의 위험요인을 파악하고 각 위험요인에 따른 원인, 주 영향, 유해위험요인 범주, 개선 및 예방수단 등을 검토하였다. 특히, 코팅액의 평가에서는 폴리에틸렌을 제외한 에탄올 및 폴리싱 글루는 위험물질로 분류되어 주의가 요구된다. G-SAVE 공법은 노후화 된 가드레일에 용융아연도금을 복원하는 기술로 신규 가드레일 생산 대비 99.4%의 탄소저감 효과를 가지는 장점이 있다.

설계단계에서 취해야 할 설계도의 변경이나 운전 효율성을 고려한 개선 방법 등을 제시하였고 조치사항도 함께 진행하여 안전한 코팅작업이 수행되도록 시스템을 완성하였다. 향후 FMECA(고장형태 및 위험성분석)와 HAZOP(위험과 운전분석) 등의 위험성 평가를 실시하여 세척 및 코팅 공정의 안전성을 더욱 향상시킬 것이다.

Acknowledgement

This research was supported by Ministry of Land, Infrastructure and Transport (RS-2022-00144120), 2023.

References

- [1] H. J. Kim, Installation of road safety guardrails for rural roads, Thesis of MS, Han Nam University (2004).
- [2] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Press Release (2022).
- [3] B. Kim, J. Kwon, S. Choi, J. Noh, K. Lee, J. Yang, Corrosion image monitoring of steel plate by using K-means clustering, Journal of Korean Institute of Surface Engineering, 54 (2021) 278-284.
- [4] K. M. Moon, J. H. Jeong, J. M. Park, M. H. Lee, T. S. Baek, Improvement of hot dip galvanizing process by additive to flux solution, Journal of Korean Institute of Surface Engineering, 49 (2016), 513-520.
- [5] KEMP Corporation, Method for surface treatment of hot-dip galvanized metal for surface repairing and improving corrosion resistance, 1020743260000, Korean Industrial Property Office, 15 Jan. (2020).
- [6] KEMP Corporation, The zinc restoration technology, KEMP The Next Galvanizing Tech., (2022).
- [7] S. J. Song, J. W. Lee, Method of risk assessment and analysis, Y. M. Bang, Sung An Dang, Seoul (2019) 254-259.