

## 화학물질의 피부 노출에 대한 위험성 평가 접근 방안 - 조선소에서의 집단 피부 질환 사례 중심 -

이혜진<sup>1</sup> · 이도희<sup>2</sup> · 이나루<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원, <sup>2</sup>한국산업안전보건공단 강원지역본부

### Approaches to Risk Assessment for Dermal Exposure to Chemicals: Focusing on Cases of Skin Disease in Shipyards

Hye Jin Lee<sup>1</sup> · Dohee Lee<sup>2</sup> · Naroo Lee<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Occupational Safety and Health Research Institute(OSHRI), Korea Occupational Safety and Health Agency(KOSHA)

<sup>2</sup>Gangwon Regional Office, Korea Occupational Safety and Health Agency(KOSHA)

#### ABSTRACT

**Objectives:** Interest in occupational skin disease is increasing, and a cluster of skin diseases occurred at a South Korean shipyard in 2020. This study examined the evaluation process applied in this case and, on that basis, considered how to approach risk assessment for dermal exposure to chemicals.


**Methods:** The paint products handled by the shipyard were classified into solvent type and solvent-free type paints, and the classification of health hazards by product and component was investigated. The relative skin sensitizing potency was evaluated using the German Epoxy Information System(EIS) according to the actual paint combinations used. In addition, skin exposure was estimated using RISKOFDERM according to the work processes involving the solvent-free type paint that is presumed to be the cause of the skin diseases.

**Results:** As a result of comparing the product hazard classification from the paint manufacturer, the classification corresponding to skin sensitization in the hardener tended to increase as the existing solvent type paint was changed to solvent-free type paint. Of the 92 components in the paint to be investigated, 26 were classified as skin sensitizers. Evaluation of the relative skin sensitizing potency of the mixed paints confirmed that the evaluation grade of skin sensitization for the solvent-free type paints was higher than that for the solvent type paints. There were differences in the main exposed areas and skin exposure estimates according to the type of painting work.


**Conclusions:** When evaluating the risk of dermal exposure to chemicals, it is necessary to apply a reasonable risk assessment approach based on a clear understanding of the hazards and exposures arising from the interaction between chemicals and the skin.

**Key words:** Chemical risk assessment, dermal exposure, epoxy sensitization, occupational skin disease, skin sensitization

\*Corresponding author: Naroo Lee, Tel: 042-869-0301, E-mail: naroollee@kosha.or.kr  
30, Expo-ro 339beon-gil, Yuseong-gu, Daejeon, 34122, Republic of Korea  
Received: October 17, 2025 Revised: May 10, 2026, Accepted: June 22, 2026

 Hye Jin Lee <https://orcid.org/0000-0002-1028-0611>

 Dohee Lee <https://orcid.org/0000-0003-3597-5476>

 Naroo Lee <https://orcid.org/0000-0003-1483-6928>

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## I. 서 론

전세계적으로 피부 관련 질환에 대한 질병 부담은 증가하고 있다(Giesey et al., 2021). 세계보건기구(World Health Organization, WHO)에 따르면 유럽, 미국의 직업성 질환 중 약 10%가 직업성 피부 질환이며, 미용업, 인쇄업, 청소업 등 일부 직종에서는 유병률이 14~65%에 이르는 것으로 나타났다(WHO, 2014). 그럼에도 여전히 직업성 피부 질환에 대한 불명확한 기준으로 인한 과소파악을 우려하고 있다. 이에 반해 국내에서 2007년부터 2016년까지 직업성 피부질환으로 산재 요양 승인을 받은 질병자는 222명으로 전체 업무상 질병자(75,134명)의 0.3%를 차지하고 있다(Kwon et al., 2018). 이와 같이 직업성 피부 질환은 국제적으로도 관심이 증대되고 있으며, 국내에서도 2020년에 조선소에서 집단 피부 질환이라는 사회적 이슈가 발생한 바 있다.

당시 조선소 집단 피부 질환은 무용제 도료(휘발성 유기화합물 함량이 5% 이내인 도료)에 포함된 과민성 물질이 주요 원인일 가능성이 매우 높다고 밝힌 바 있다(고용노동부, 2021). 그러나 피부 질환은 피부 노출로 인해 나타날 수 있는 건강 영향의 일부분으로, 작업장 내에서 그 위험성을 적절하게 평가하기 위한 체계적인 방법론이 부족한 실정이다.

한편, 화학물질과 피부의 상호작용에 의해 나타날 수 있는 건강 유해성은 급성경피독성, 피부 부식성 및 피부 자극성, 피부 과민성 등으로 구분된다(UN, 2025). 2020년 조선소 집단 피부 질환은 접촉성 피부염 사례이고(고용노동부, 2021), 당시 사용한 에폭시 도료의 대표적인 건강 유해성은 피부 과민성으로 널리 알려져 있다(HSE, 2003). 또한 본 연구에서 도료 유형에 따라 피부 노출 관련 유해성을 포함한 모든 건강 유해성 분류 결과를 비교한 결과, 가장 두드러진 차이를 보인 항목이 피부 과민성이었다.

이에 본 연구에서는 2020년 당시 국내에서 발생했던 조선소에서의 피부 질환 사례를 바탕으로, 피부 과민성을 중심으로 한 화학물질의 피부 노출에 대한 위험성 평가에 있어 과정과 제한점을 고찰하고, 그 접근 방안을 제안하고자 하였다.

## II. 연구방법

### 1. 조선소 취급 도료 제품의 유해성 조사

#### 1) 용제형 도료 및 무용제 도료 제품의 건강 유해성 분류 조사

피부 질환 발생 당시 조선소에서 취급했던 선박 방청용 에폭시 도료 중 기존의 용제형 도료 4개 제품(주제 4종, 경화제 5종, 희석제 4종)과 무용제 도료 7개 제품(주제 7종, 경화제 8종)에 대한 주제, 경화제, 희석제의 물질안전보건자료(Material Safety Data Sheet, MSDS)를 수집하여 구성성분 및 건강 유해성을 비교 분석하였다.

#### 2) 구성성분별 피부 관련 유해성 분류 조사

도료 제품 내 주요 기능에 따라 구성성분을 구분하고, 피부 과민성 분류 정보를 보유한 DB와 비교 분석하였다. 피부 과민성과 관련된 화학물질 DB는 독일에서 발간한 에폭시 수지의 비교 건강 평가에 대한 의견 보고서(FP-0384), 유럽의 화학물질 등록 및 조화 분류 자료와 안전보건공단의 MSDS DB를 대상으로 하였다.

#### 3) 화학제품에 대한 피부 과민성 지수 평가

독일에서 개발한 EIS(Epoxy Information System)를 활용하여 각 도료의 혼합 제품에 대한 피부 과민성 지수를 평가하였다. EIS는 에폭시 수지 시스템에 대한 피부 감작능(Skin sensitizing potency) 통합 평가 도구이다. 이는 웹 기반의 도구로서 EIS 물질 목록, 에폭시 수지 시스템에 대한 유해 잠재력을 계산할 수 있는 EIS 모듈, 배경 정보로 구성되어 있다.

실제 도장 작업 시에는 주제(메인 수지와 필러 포함)와 경화제를 필요에 따라 조합하여 사용하기 때문에 사업장으로부터 해당 제품 조합 비율 정보를 추가 수집하여 활용하였다. 그리고 유해성 분류는 EIS 내 유해성 정보, 유럽의 등록 및 조화 분류 자료를 확장하여 적용하였다.

제품 내 구성성분의 함유량은 일반적으로 최소에서 최대의 범위로 기재되어 있어 보수적인 평가를 위해 최대값을 활용하여 계산하였으며, EIS의 각 영역별(수지, 경화제, 필러) 입력 가능한 구성성분은 최대 12개까지 이므로 이를 초과하는 경우 유해성 분류(특히 피부 관련 유해성 중심)에 따라 12개의 구성성분을 선택하여 적용하였다.

### 2. 작업 형태에 따른 피부 노출 평가

피부 노출 수준을 평가하기 위하여 유럽에서 개발한 RISKOFDERM을 활용하였다. 이는 엑셀 형태로 제공

**Table 1.** Summary of epoxy resin paints used for anti-corrosion purposes in shipyards subject to investigation (Unit: Number)

Manufacturer	Solvent type paints			Solvent-free type paints	
	Base	Hardener	Thinner	Base	Hardener
A	1	2	1	2	3
B	1	1	1	1	1
C	1	1	1	2	2
D	1	1	1	2	2
Total	4	5	4	7	8

하는 노출 평가 모델로서, 피부 및 외층에의 노출을 추정할 수 있다. 평가를 위해 작업 형태, 작업 시간, 제품 점도 및 휘발성, 작업 도구, 분당 사용량 등의 작업 내용을 현장 조사를 통해 확보하여 모델 입력값으로 활용하였다.

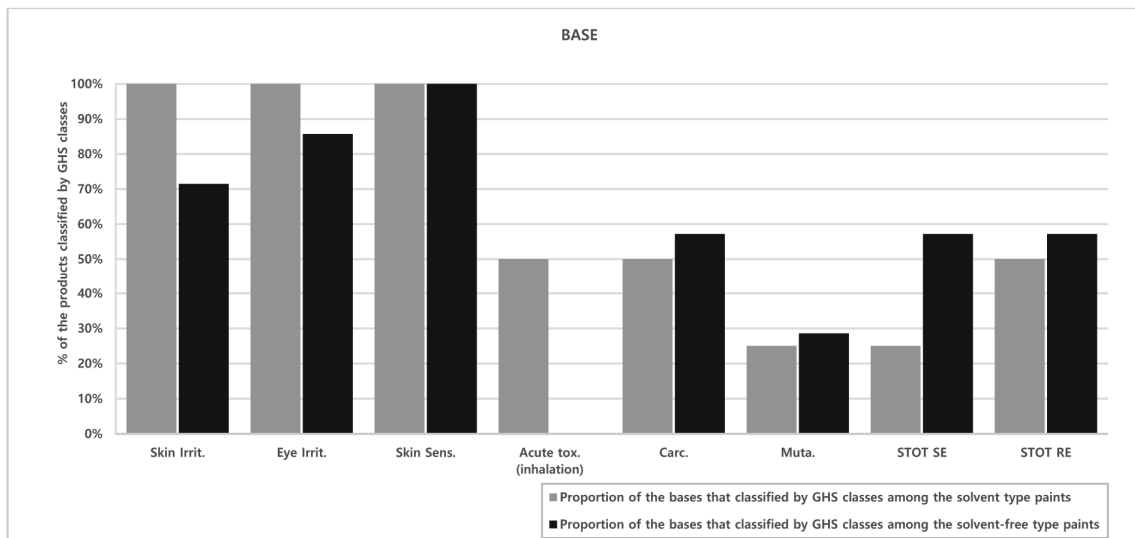
### III. 결 과

#### 1. 조선소 취급 도료 제품의 유해성 조사

- 1) 용제형 도료 및 무용제 도료 제품의 건강 유해성 분류 조사  
에폭시 도료는 에폭시 수지(Epoxy resin)를 주제(Base)

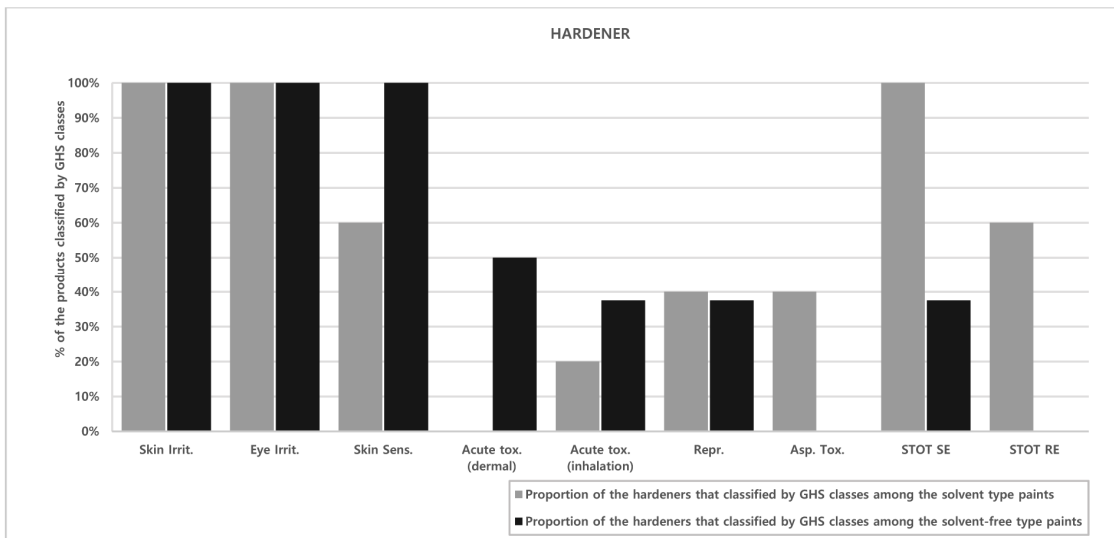
로 이용하며, 그 외에 경화제(Hardener, Curing agent), 반응성 희석제(Reactive diluent), 용제(Solvent), 그 외 첨가물(Additive)로 구성된다. 도료 제조사(4개사)에서 판매한 선박 방청용 에폭시 도료 중 용제형 및 무용제 도료 제품에 대한 주제, 경화제, 희석제별 조사 대상은 Table 1과 같다. 용제형 도료는 주제 4종, 경화제 5종, 희석제 4종으로 이루어져 있으며, 무용제 도료는 희석제를 사용하지 않는 방식으로 주제 7종, 경화제 8종으로 이루어져 있다.

조사 대상 용제형 및 무용제 도료의 MSDS상 건강 유해성 분류 결과를 비교한 결과는 주제, 경화제, 희석제별 각각 Figure 1, Figure 2, Figure 3과 같다. 용제형과 무용제 도료의 모든 주제 제품에서 피부 과민성을 확인할 수 있었으며, 피부 및 눈 자극성, 급성흡입독성은 용제형에서 무용제로 바뀔 때 따라 감소하는 경향을 확인할 수 있었다. 특정표적장기독성과 발암성, 생식세포 변이원성으로 분류하고 있는 제품의 비율은 용제형보다 무용제에서 더 큰 것으로 나타났다. 이에 반해 경화제 제품 MSDS의 유해성 분류를 비교한 결과, 용제형 도료에서 무용제 도료로 바뀔 때 따라 피부 과민성, 급성경피독성 및 급성흡입독성은 증가하는 경향을 보였다. 희석제는 용제형 도료에서 사용되며, 대부분 피부 및 눈 자극성으로 분류되었다.



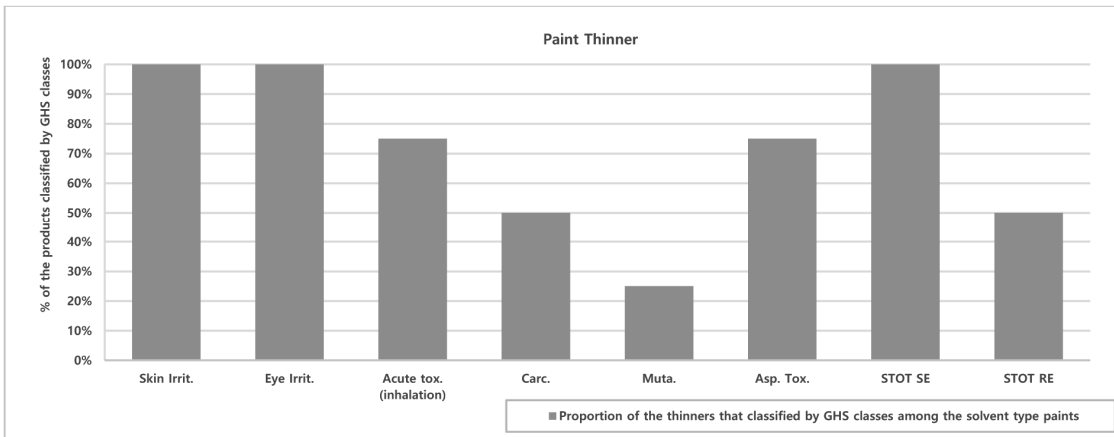
\* Abbreviations: Skin Irrit.(Skin Irritation), Eye Irrit.(Eye Irritation), Skin Sens.(Skin Sensitization), Acute Tox. inhalation(Acute Toxicity - Inhalation), Carc.(Carcinogenicity), Muta.(Germ Cell Mutagenicity), STOT SE(Specific Target Organ Toxicity - Single Exposure), STOT RE(Specific Target Organ Toxicity - Repeated Exposure)

**Figure 1.** Comparison of GHS health hazard classification in the base



\* Abbreviations: Skin Irrit.(Skin Irritation), Eye Irrit.(Eye Irritation), Skin Sens.(Skin Sensitization), Acute Tox. dermal(Acute Toxicity – Dermal), Acute Tox. inhalation(Acute Toxicity – Inhalation), Repr.(Reproductive Toxicity), Asp. Tox.(Aspiration Hazard), STOT SE(Specific Target Organ Toxicity – Single Exposure), STOT RE(Specific Target Organ Toxicity – Repeated Exposure)

Figure 2. Comparison of GHS health hazard classification in the hardener



\* Abbreviations: Skin Irrit.(Skin Irritation), Eye Irrit.(Eye Irritation), Acute Tox. inhalation(Acute Toxicity – Inhalation), Carc. (Carcinogenicity), Muta.(Germ Cell Mutagenicity), Asp. Tox.(Aspiration Hazard), STOT SE(Specific Target Organ Toxicity – Single Exposure), STOT RE(Specific Target Organ Toxicity – Repeated Exposure)

Figure 3. Comparison of GHS health hazard classification in the thinner

2) 구성성분별 피부 관련 유해성 분류 조사

에폭시 수지는 피부 과민성을 일으키는 것으로 널리 알려져 있다(HSE, 2003). 이에 따라 각 도료 제품의 구성성분 정보를 주요 기능에 따라 구분하여 피부 과민성 여부를 확인하였다. 1)에서 확인한 유해성 분류의 분포는 해당 제품 제조사에서 판단한 것이므로, 이와 별도

로 각 구성성분에 대하여 국내·외 피부 과민성 물질 DB와 비교 분석하였다. 용제형 도료의 주제 제품은 평균적으로 에폭시 수지 20~40%, 충전제 30~60%, 용제 7~30%, 첨가물 0~3%로 구성되어 있었다. 특히 에폭시 수지는 주로 Bisphenol A형 수지(CAS No. 1675-54-3, 25068-38-6, 25036-25-3) 성분이 사용되었고, 제품

**Table 2.** Skin sensitizing substances in the base components of solvent type paints

(Unit: %)			
Group	CAS no.	Chemical	Content (Min-Max)
Epoxy resins	1675-54-3	Bisphenol A epichlorohydrin(MW 340)	7-30
	25036-25-3	Bisphenol A-Bisphenol A diglycidyl ether polymer	7-30
	25068-38-6	Epoxy resin(MW(700)	10-20
	67989-52-0	Fatty acids, C18-unsaturated, polymers with Bisphenol A and epichlorohydrin	20-30
	68413-24-1	Cashew, nutshell liq. polymer with epichlorohydrin	1-10
Solvents	100-51-6	Benzyl alcohol	0-1
Additives	911674-82-3	Bisamide mixture	0-1

에 따라 고분자의 에폭시 수지(CAS No. 67989-52-0, 68413-24-1)도 함께 사용되었다. 사용된 에폭시 수지는 모두 피부 과민성이 있는 것으로 알려져 있다. 충전제로는 Feldspar-ground minerals, Aluminum powder, Kaolin, Talc 등 다양한 성분이 사용되었으며, 용제로는 n-Butyl alcohol, Xylene, Ethylbenzene 등이 쓰였다. 첨가제는 제품에 따라 다양한 화학물질이 사용되었다. 용제형 도료(주제)에 사용된 화학물질 중 피부 과민성이 있는 것으로 확인된 물질은 Table 2와 같다.

무용제 도료의 주제는 평균적으로 에폭시 수지 25~40%, 충전제 20~45%, 반응성 희석제 2~10%, 첨가제 1~10% 등으로 구성되어 있었다. 에폭시 수지의 경우 용제형 도료와 달리 Bisphenol F형 수지(CAS No. 9003-36-5) 성분이 공통적으로 사용되었으며, 제품에 따라 Bisphenol A형 수지(CAS No. 1675-54-3)와 고분자의 에폭시 수지(CAS No. 68413-24-1)가 함께 사용되었다. Bisphenol F형 수지의 분자량은 약 217이

고 Bisphenol A형 수지의 분자량은 약 340으로, 무용제 도료에는 분자량이 더 작은 에폭시 수지가 주로 사용됨을 알 수 있었다. 반응성 희석제로는 1,6-Hexanediol diglycidyl ether(CAS No. 16096-31-4) 등의 화학물질이 사용되었으며, 모두 피부 과민성을 확인할 수 있었다. 충전제와 첨가제는 용제형 도료와 마찬가지로 다양한 성분이 사용되었다. 무용제 도료(주제)에 사용된 화학물질 중 피부 과민성이 있는 것으로 확인된 성분은 Table 3과 같다.

경화제는 용제형 도료와 무용제 도료 모두 제품에 따라 구성성분이 매우 다양한 경향을 보였으며, 평균적으로 제품 당 약 10여종의 구성성분을 함유하고 있었다. 일반적으로 에폭시 수지와 결합하는 아민화합물, 아미드화합물, 페놀화합물 등과 비반응성 희석제, 첨가제 등으로 구성되어 있었다. 특히 모든 경화제는 다양한 아민화합물을 포함하고 있었다. 용제형 도료의 경화제, 무용제 도료의 경화제 제품에 사용된 화학물질 중 피부 과

**Table 3.** Skin sensitizing substances in the base components of solvent-free type paints

(Unit: %)			
Group	CAS no.	Chemical	Content (Min-Max)
Epoxy resins	1675-54-3	Bisphenol A epichlorohydrin(MW 340)	1-8
	9003-36-5	Formaldehyde polymer with (chloromethyl)oxirane and phenol (MW≤700)	20-40
	68413-24-1	Cashew, nutshell liq. Polymer with epichlorohydrin	0-17
Reactive thinner	14228-73-0	[1,4-Cyclohexanediyl bis (methyleneoxymethylene)]bisoxirane	1-10
	16096-31-4	1,6-Hexanediol diglycidyl ether	0-10
	3101-60-8	4-tert-Butylphenyl glycidyl ether	2.5-5
	68609-97-2	Oxirane, mono[(alkyl(C=12-14)oxy)methyl] derivs.	1-10
Additives	147900-93-4	Fatty acids, (C=18)-unsatd., trimers, compds. with oleylamine	0-1
	15625-89-5	Trimethylolpropane triacrylate	0-1
	85711-55-3	Fatty acids, tall-oil, compds. with oleylamine	0-1

**Table 4.** Skin sensitizing substances in the hardener components of solvent type paints

(Unit: %)			
Group	CAS no.	Chemical	Content (Min-Max)
Epoxy resins	1675-54-3	Bisphenol A epichlorohydrin(MW 340)	1-10
	8007-24-7	Cashew, nutshell liq.	1-14
1°, 2° amines	68082-29-1	Fatty acids, C18-unsatd., dimers, polymers with tall-oil fatty acids and triethylenetetramine	21-30
aliphatic amines	107-15-3	1,2-diaminoethane	0.1-1
	112-24-3	1,2-ethanediamine, N,N"-bis(2-aminoethyl)-	1-7
Phenols	71074-89-0	bis[(dimethylamino)methyl]phenol	0-1
	90-72-2	2,4,6-Tris(dimethylaminomethyl)phenol	1-17

**Table 5.** Skin sensitizing substances in the hardener components of solvent-free type paints

(Unit: %)			
Group	CAS no.	Chemical	Content (Min-Max)
Amine resins	57214-10-5	Formaldehyde polymer with 1,3-benzenedimethanamine and phenol	4-26
1°, 2° amines	1760-24-3	N-[3-(Trimethoxysilyl)propyl]-1,2-ethanediamine	4-11
1°, 3° amines	68082-29-1	Fatty acids, C18-unsatd., dimers, polymers with tall-oil fatty acids and triethylenetetramine	11-20
	104-78-9	N,N-Diethyltrimethylenediamine	0-10
1° amines	1477-55-0	1,3-Bis (Aminomethyl) benzene	1-20
aliphatic amines	109-55-7	3-Aminopropyldimethylamine	1-10
	112-24-3	1,2-ethanediamine, N,N"-bis(2-aminoethyl)-	0-1.5
	112-57-2	Tetraethylenepentamine	0-8
Phenol resins	9003-35-4	Formaldehyde, oligomeric reaction products with phenol	0-10
Phenols	90-72-2	2,4,6-Tris(dimethylaminomethyl)phenol	0-10
	98-54-4	Phenol, 4-(1,1-dimethylethyl)-	11-20
Solvents	100-51-6	Benzyl alcohol	1-17
Additives	162627-18-1	Fatty acids, C18-unsatd., trimers, reaction products with triethylenetetramine	0-1

민성이 있는 것으로 확인된 성분은 Table 4 및 Table 5와 같다.

용제형 도료의 주제, 경화제와 혼합하여 사용하는 희석제는 평균 4~5종의 화학물질로 구성되어 있었다. Xylene(1330-20-7), Ethylbenzene(100-41-4), Solvent naphtha(64742-95-6), 1-Butanol(71-36-3), Propylene glycol methyl ether(107-98-2), 4-Methyl-2-pentanone(108-10-1), 1,2,4-trimethylbenzene(95-63-6), Isobutanol(78-83-1), n-Butylacetate(123-86-4) 등이 사용되었다. 피부 과민성이 있는 것으로 알려진 성분은 없지만 피부 자극성, 급성흡입독성, 호흡기 자극 유해성, 특정표적장기독성, 흡인 유해성 등의 건강 유해

성이 있는 경우가 많았다.

전체적으로 용제형/무용제 도료의 주제, 경화제, 희석제에 사용된 전체 성분 92종 중 26종(28%)의 화학물질이 피부 과민성에 해당하였다.

### 3) 화학제품에 대한 피부 과민성 지수 평가

선박 방청용 에폭시 도료의 성분은 주제 기준으로 많게는 20종 이상이 혼합되어 있었으며, 경화제 기준으로도 10종 이상의 구성성분을 포함하고 있었다. 도장 작업 시 주제와 경화제를 조합하여 사용하기 때문에 용제형 및 무용제 도료에서의 실제 주제/경화제 사용 조합 비율에 따라 독일 EIS 도구를 활용하여 피부 과민성 정

**Table 6.** Evaluation results of the skin sensitizing potency of solvent-free type paints

Base	Hardener	Score of the base	Score of the hardener	Mixing ratio	Score of the mixture	Grade
A-m-1	A-h-1	658	443	3:1	635	IV
A-m-1	A-h-2	658	1,345	3:1	661	IV
A-m-1	A-h-3	658	672	3:1	638	IV
A-m-2	A-h-1	658	443	3:1	635	IV
A-m-2	A-h-2	658	1,345	3:1	661	IV
A-m-2	A-h-3	658	672	3:1	638	IV
B-m-1	B-h-1	625	300	2.5:1	604	IV
C-m-1	C-h-1	600	10	2.9:1	449	III
C-m-2	C-h-2	625	50	2.7:1	561	III
D-m-1	D-h-1	500	1,564	8:2	468	III
D-m-2	D-h-2	625	3,500	8:2	940	V

Note: The skin sensitizing potency grades are categorized in 200-point intervals based on the EIS evaluation tool(DGUV, 2016): Grade I (<200), Grade II(200 to <400), Grade III(400 to <600), Grade IV(600 to <800), Grade V(800 to <1,000), and Grade VI(≥1,000). A higher grade indicates greater concern for skin sensitization.

도를 평가하였다. 무용제 도료의 경우 주제 7종, 경화제 8종에 대하여 총 11가지 조합을 대상으로 평가한 결과는 Table 6과 같다. 전반적으로 주제에 대한 피부 과민성 계산 결과는 1종(500점)을 제외하고 600~658점으로 비슷하였다. 그러나 경화제의 경우는 성분에 따라 10~3,500점으로 차이가 큰 것을 확인할 수 있었다. 그리고 각 주제와 경화제의 혼합 비율을 적용하여 제품에 대한 통합 평가를 실시한 결과는 449~940점으로 최종 III에서 V 등급 사이에 분포하였다.

기존 용제형 도료에 대해서도 주제 4종, 경화제 5종에 대하여 총 5가지 조합을 대상으로 피부 과민성 지수 평가를 수행한 결과는 Table 7과 같다. 용제형 도료의 경우 전반적으로 무용제 도료에 비해 피부 과민성 평가 등급이 낮음(I~IV)을 확인할 수 있었다. 다만 비교적 낮은 점수에 해당하는 일부 주제의 경우(\* 표시) Bisphenol A형 수지가 14~30%까지 포함되어 있었는데, 해당 성분은 내·외부 자료에서 피부 과민성 구분으로 확인되지

않아 비록 본 평가에서는 반영하지 않았으나 유사한 구조로 보아 피부 과민성이 있는 것으로 추정된다. 용제형 도료의 경우도 경화제에서 과민성 점수의 차이가 큰 것을 확인할 수 있었다.

## 2. 작업 형태에 따른 피부 노출 평가

이상의 결과를 바탕으로 무용제 도료 제품에서의 피부 과민성 지수가 전반적으로 높아진 것을 확인할 수 있었다. 무용제 도료 제품에서의 피부 질환과 관련된 유해성을 확인했기에 다음 단계로 피부 노출 가능성을 확인하고자 하였다. 피부 노출을 직접 측정할 수 있는 방법은 차단, 제거, 현장 시각화 등 상당히 다양하지만(WHO, 2014), 표준화된 방법은 아직 없어서 피부 노출을 추정할 수 있는 모델인 RISKOFDERM을 활용하여 무용제 도료를 사용하는 작업 형태를 조사하고 이에 따라 손, 신체 피부 노출 추정량을 확인하였다.

조선소에서 도장 작업을 하는 형태는 크게 스프레이

**Table 7.** Evaluation results of the skin sensitizing potency for solvent type paints

Base	Hardener	Score of the base	Score of the hardener	Mixing ratio	Score of the mixture	Grade
A-m-3	A-h-4	330*	610	4:1	317	II
A-m-3	A-h-5	330*	1,038	4:1	347	II
B-m-2	B-h-2	603	15	3:1	465	III
C-m-3	C-h-3	638	40	3:1	607	IV
D-m-3	D-h-3	0*	625	79:21	137	I

Note: Grade categories follow the same 200-point intervals as in Table 6(DGUV, 2016).

\* Some ingredients are excluded from evaluation due to lack of data, but are presumed to have skin sensitization

**Table 8.** Exposure parameters and potential dermal exposure estimates for processes in which solvent-free type paints are used

Input parameter		Spraying	Input parameter		Dispersion hand-held tools
Location	Indoors		Direction of application	Level or overhead	
Direction of application	Level		Viscosity of the product	Like syrup or honey	
Direction of airflow	Not clearly away from the worker		Application rate of the product	0.05 L/min	
Worker's segregation from the source	No		Tools used for application	Tools with handles < 30 cm in length	
Distance between the source and the worker	Up to 1 meter		Duration of work during a shift	3-4 hr	
Volatility of the carrier liquid	Not highly volatile		Dermal exposure estimates		Exposure rate (hands) 27.1-598 µl/min (body) 36.2-352 µl/min Exposure loading per shift (hands) 6,490 µl (body) 8,690-161,000 µl
Physical state of the product	Liquid				
Application rate of the product	1.5 L/min				
Duration of work during a shift	3-4 hr				
Dermal exposure estimates		Exposure rate (hands) 27.8-277 µl/min (body) 145-1,440 µl/min Exposure loading per shift (hands) 6,680 µl (body) 34,800-157,000 µl			

작업과 롤러나 브러쉬를 사용하는 터치업 작업이 있다. 각 작업 형태에 따라 피부 노출에 영향을 미치는 변수가 달라진다. 스프레이 작업의 경우 작업 장소, 작업 방향, 기류 방향, 오염원에서의 분리 여부, 작업자의 위치, 휘발성 여부, 취급제품의 성상, 분당 사용량, 1일 작업시간이 주요한 변수이며, 롤러/브러쉬 작업의 경우 작업 방향, 취급제품의 성상, 분당 사용량, 사용 도구, 1일 작업시간이 결정요인이다. 무용제 도료 도장 작업 형태별 주요 변수와 RISKOFDERM을 활용하여 피부 노출을 추정된 결과는 Table 8과 같다. 노출 모델에 따른 피부 노출 추정량(50 percentile)은 스프레이 작업의 경우 분당 손을 기준으로 27.8 µl, 전신을 기준으로 145 µl이었으며, 터치업 작업자의 롤러, 브러쉬 작업의 경우 분당 손 27.1 µl, 전신 36.2 µl로 작업 형태와 노출 부위에 따라 노출의 차이를 확인할 수 있었다. 즉, 두 작업 형태 간 분당 사용량은 약 30배 차이임에도 불구하고 손에 대한 분당 노출 추정량은 유사한 수준이었던 반면, 전신에 대한 분당 노출 추정량은 스프레이 작업이 롤러/브러쉬 작업보다 약 4배 높은 것으로 나타났다.

#### IV. 고 찰

화학물질의 피부 노출은 흡입 노출보다 그 위험성이 간과되는 경향이 있다. 그러나 경로의 차이가 있을 뿐이지 위험성 평가에 대한 접근 방식은 크게 다르지 않다. 기본적으로 화학물질의 유해성을 확인 및 평가하고, 노출 가능성을 평가한 후, 그 위험성을 결정(판단)하여 안전하게 관리하는 것이다. 사업장에서 화학물질의 피부 노출에 대한 위험성 평가도 원칙은 동일하다. 다만 피부 노출의 경우 이와 관련된 건강 유해성 분류와 피부 노출과 관련된 직업성 질환의 개념이 차이가 있다. 먼저 화학물질과 피부와의 상호작용에 의해 나타날 수 있는 건강 유해성은 대표적으로 급성경피독성, 피부 부식성 및 피부 자극성, 피부 과민성으로 구분할 수 있다(UN, 2025). 그러나 피부 노출 관련 직업성 질환은 통상 직업 요인에 의한 피부 질환을 의미하며, 주로 직접적인 피부 영향인 자극성과 과민 반응을 중심으로 다루고 있어 피부 흡수를 통해 일어나는 전신 영향의 경우 피부 노출에만 특이적이지 않은 경우들로 영향 부위도 다를 수 있어 피부 질환으로 다루고 있지 않다(WHO,

2014).

조선소 집단 피부 질환 발생의 경우에도 이러한 관점에서 사용된 도료 제품에 대한 피부 노출과 관련된 유해성을 조사하였다. 이전 사용 제품과의 비교 결과 피부 과민성에 대한 추가 조사가 필요하다는 점을 확인할 수 있었다. 그러나 화학제품의 MSDS 자료에 기반한 유해성 조사는 제조사에서 판단한 유해성 분류라는 점을 고려할 필요가 있었다. 이에 따라 제품의 구성성분 정보를 최대한 확보하여 피부 과민성을 중점적으로 평가하였다. 물론 여전히 구성성분 정보에 영업비밀 성분이 여전히 포함되어 있거나 일부 함유량이 100% 미만이라는 점은 평가에 제한점으로 작용했다.

기존의 용제형 도료와 무용제 도료의 주요한 차이는 희석제로 많이 사용되는 휘발성 유기용제의 함유량을 낮춘 것이었다. 그러나 공통적으로 에폭시 수지를 기본으로 하고 있다. 에폭시 도료 사용 시 피부 과민성에 대한 우려는 이미 널리 알려져 있었으며(HSE, 2003), 독일에서도 이미 관련된 연구를 진행하여 피부 과민성 등급을 분류한 DB와 평가 도구까지 개발된 상황이었다(DGUV, 2016). 다만 이렇게 특정 유해성에 특화된 유럽의 전문 DB를 참조했을 때 국내에서 사용된 성분들과 동일한 물질을 포함하지 않는 경우도 있었기 때문에 충분한 정보가 없는 경우도 있었다. 그럼에도 불구하고 평가 대상 도료 제품의 구성성분을 확인한 결과, 각 기능별로 상당히 많은 성분의 화학물질들이 피부 과민성 분류에 해당됨을 알 수 있었다.

도료 제품들은 그 기능에 따라 주제, 경화제, 희석제 등을 섞은 혼합 제품으로 사용된다(Pham et al., 2005). 따라서 독일 EIS 평가 도구에서 혼합 제품에서의 피부 과민성 정도는 혼합 비율에 따른 최종 제품에서의 개별 구성성분에 대한 피부 과민성 등급, 해당 성분의 농도, 피부 장벽을 손상시키거나 피부 투과를 증가시키는 요소 등을 가중치로 고려하여 총 과민성 영향으로 결정된다(DGUV, 2016). 이 결과를 비교함으로써 각 제품에 대한 상대적 과민성을 비교 평가하였다. 그 결과 기존의 용제형 도료에서 보다 무용제 도료에서의 과민성 점수가 높았고, 등급으로 변환한 결과에서도 용제형은 I~IV, 무용제는 더 높은 등급인 III~V에 해당하였다. 여기서 정확히 정량적인 숫자만으로는 평가 결과는 오해를 줄 수 있기 때문에 최종 점수는 I에서 VI까지의 위험 등급으로 변환된다. EIS 평가 도구는 산정된 점수를 200점 단위 구간으로 등급화하여 I등급(200점 미

만)부터 VI등급(1,000점 이상)까지 6개 등급으로 분류한다(DGUV, 2016). 즉 평가에 따른 최종 점수가 서로 다른 위험 등급에 속하거나 200점 이상의 차이가 나는 경우는 중요한 차이로 볼 수 있으며, 위험 등급이 낮을수록 피부 감작능에 대한 우려가 적음을 의미한다. 즉 위험 등급이 높은 경우에 대한 추가 조사가 필요하며, 필요시 대체의 한 요소로서 고려할 수 있을 것이다. 하지만 해당 평가 도구는 피부 감작능만을 결정하고 비교하기 위한 것으로 이를 제외한 모든 건강 혹은 물리적 유해성을 고려하여 평가하고 있지 않으므로 이 점에 유의하여 활용할 필요가 있다. 그리고 평가 대상 도료의 성분 중에서 유사 구조로 인하여 피부 과민성에 대한 우려는 되지만 충분히 평가 정보가 없는 경우도 있었으며, 함유량의 범위에 따라 최대값을 적용하였다는 점은 정확한 평가에 제한적 요소로 작용하였다.

일반적인 화학물질 위험성 평가 방식은 유해성에 기반하여 그 기준값을 설정하고, 이에 대비한 노출수준을 확인하여 충분히 안전한지를 확인하여 관리하는 것이다. 그러나 피부 과민성은 이러한 기준값을 설정하기 어려운 건강 영향으로, 기존 대비 비교 방식을 적용하여 평가하기 어려운 유해성이다. 노출 관점에서 피부 과민성의 영역은 물질의 농도, 노출 기간, 흡수 정도, 접촉 빈도 등에 따라 복잡하게 영향을 받아 평가에 어려움이 있다. 소비자 제품(향료 성분)에서 이러한 피부 과민성에 한정하여 위험성 평가를 할 수 있는 방법 중 하나로 QRA(Quantitative Risk Assessment)가 있으나, 아직 충분히 검증되지 않아 규제 목적으로 활용되기에는 이르다(EC, 2018). 특히 작업환경에서의 복잡한 노출 상황을 고려하기에는 기준값을 설정하는 부분에서도 노출을 확인하는 부분에서도 충분하지 않은 것으로 보인다.

이에 따라 본 조사에서는 작업 형태에 따른 노출 양상만 추정하였다. 실제 노출이 어느 정도로 일어날 수 있는지를 피부 노출 모델(RISKOFDERM)을 활용하여 평가하였으며, 그 결과 작업 형태에 따라 주요 노출 부위, 노출의 차이를 확인할 수 있었다. 이렇게 확인한 노출 추정량은 피부 과민성에 대한 기존 대비 비교 방식에는 활용할 수 없지만, 이를 바탕으로 노출 관리를 어떻게 해야 할지 대책을 수립하는데 활용할 수 있을 것이다. 또한 이 모델은 보호복이나 보호장갑에 따른 노출 저감 효과는 모델 밖에서 별도로 고려해야 할 필요가 있다.

## V. 결 론

본 연구는 2020년 조선소에서 발생한 집단 피부 질환 조사에서의 평가 과정과 이를 바탕으로 화학물질의 피부 노출에 있어 위험성 평가는 어떻게 접근해야 할지를 고찰하였다. 조선소 집단 피부 질환 발생 시 위험성 평가 과정과 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 도료 제조사의 제품 유해성 분류 비교 결과 기존의 용제형 도료에서 무용제 도료로 바뀌면서 특히 경화제에서 피부 과민성 등이 증가하는 경향을 보였다.

둘째, 용제형/무용제 도료의 주제, 경화제, 희석제에 사용된 구성성분 92종 중 26종(28%)이 피부 과민성에 해당하는 성분이었다. 특히 무용제 도료의 구성성분 중 피부 과민성이 있는 것으로 확인된 화학물질이 용제형 도료보다 더 많았다.

셋째, 최종 혼합 도료의 상대적 피부 과민성 지수를 평가한 결과 전반적으로 무용제 도료의 피부 과민성 평가 등급(Ⅲ~Ⅴ)이 용제형 도료의 등급(Ⅰ~Ⅳ)에 비해 높음을 확인할 수 있었다.

넷째, 도장 작업 형태(스프레이, 롤러/브러쉬)에 따라 주요 노출 부위와 피부 노출 추정량에 차이가 있음을 확인할 수 있었다.

즉, 이와 같은 평가 결과는 도료 유형에 따라 상대적 과민성 정도가 달라지므로 향후 도료 개발 시 해당 평가 도구를 활용하여 유해성 저감을 고려하거나, 작업 유형에 따라 노출이 달라지므로 관리 조치에 있어 효율적인 개입 방식을 결정하는데 고려할 필요가 있다.

피부 노출에 대한 위험성 평가는 다양한 노출 방식(침착, 직접 방출 및 접촉, 이동), 다른 독성학적 영향(전신영향, 국소영향, 과민성) 등에 의하여 유해성 및 노출 관점에서도 굉장히 복잡한 구조를 이루고 있다. 하지만 화학물질과 피부와의 상호 작용에 의한 유해성을 명확히 이해한다면, 유해성에 기반한 기준값 대비 노출량을 비교하여 그 위험성을 판단할지 혹은 상대적으로 유해성과 노출을 각각 비교하여 안전한 관리 방향을 제시할지 중에서 합리적인 위험성 평가 접근 방안을 적용할 수 있을 것이다.

## 감사의 글

본 논문은 2021년도 선박 방청용 에폭시 도료의 안전성 검토 및 2022년도 한국산업안전보건공단 산업안

전보건연구원에서 수행한 연구과제를 기반으로 작성되었음.

## References

- Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung(DGUV). GUTACHTEN ZUR VERGLEICHENDEN GESUNDHEITLICHEN BEWERTUNG VON EPOXIDHARZSYSTEMEN UNTER BERÜCKSICHTIGUNG DER SENSIBILISIERENDEN WIRKSTÄRKE(FP-0384).; 2016
- European Chemicals Agency(ECHA). Information on Chemicals. [cited 2021 Apr]. Available from: URL:https://echa.europa.eu/information-on-chemicals
- European Chemicals Agency(ECHA). Table of harmonised entries in Annex VI to CLP. [cited 2021 Apr]. Available from: URL:https://echa.europa.eu/information-on-chemicals/annex-vi-to-clp
- European Commission(EC). Opinion on skin sensitisation Quantitative Risk Assessment for fragrance ingredients (QRA2), Submission I.; 2018
- Giesey RL, Mehrmal S, Uppal P, Delost G. The global burden of skin and subcutaneous disease: a longitudinal analysis from the Global Burden of Disease Study from 1990–2017. SKIN The Journal of Cutaneous Medicine. 2021;5(2):125–136
- Health and Safety Executive(HSE). An assessment of skin sensitisation by the use of epoxy resin in the construction industry.; 2003
- Kwon BH, Jo JH, Lee DH. A Review on the Classification of Skin Toxicity Hazards Due to Skin Contact with Chemical Substances. J Korean Soc Occup Environ Hyg 2018;28(2):175–189
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). Press release, "Occupational skin disease at shipyards, caused by sensitizing substances contained in paint". [cited 2021 Aug]. Available from: URL:https://www.moel.go.kr/news/enews/report/enewsView.do?news\_seq=12550
- Pham HQ, Marks MJ. Epoxy resins. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry.; 2005. https://doi.org/10.1002/14356007.a09\_547.pub2
- United Nations(UN). Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS), 11th rev. ed.; 2025
- van Hemmen JJ, Auffarth J, Evans PG, Rajan-Sithamparanadarajah B, Marquart H et al. RISKOFDERM: risk assessment of occupational dermal exposure to chemicals. An introduction to a series of papers on the development of a toolkit. Ann

Occup Hyg. 2003 Nov;47(8):595-8. doi:  
10.1093/annhyg/meg094. PMID: 14602667  
World Health Organization(WHO). IPCS Environmental  
Health Criteria 242: Dermal Exposure.; 2014

**<저자정보>**

이혜진(연구위원), 이도희(과장), 이나루(실장)