

용제도장 공정의 화재 시뮬레이션을 통한 위험성 분석

이인식*, 최재욱**

A Risk Analysis through Fire Simulation of Solvent Paint Process

In Sik Lee*, Jae Wook Choi**

요 약

소비자들의 요구에 대응하기 위해 전자제품 제조 시 다양한 색상에 대한 제품의 생산이 필요하며 용제도장은 이러한 추세에 대응하기 위해 많은 제조업체에서 적용하고 있다. 하지만 용제도장의 원료로 사용되는 페인트, 신너 등의 도료는 화재폭발의 잠재적인 위험성이 매우 높은 인화성 액체로 구성되어 있다. 이에 따라 용제도장 공정에서 발생 가능한 화재폭발의 위험성에 대해 화재 시뮬레이션을 통해 실제 공정의 사례에 관한 연구가 필요하다. 본 논문에서는 용제도장 공정에 대한 화재 시뮬레이션을 통해 화재 시 열 방출률 및 스프링클러 형식 및 방화 셔터 작동 여부에 대한 검증을 통해 타 시설의 개선 및 신규 투자 시 활동을 통해 화재 위험도를 최소화하는데 이바지할 것을 기대한다.

Abstract

In order to respond to the needs of consumers, it is necessary to produce products in various colors when manufacturing electronic products, and solvent coating is applied by many manufacturers to respond to this trend. However, paints and thinners used as raw materials for solvent coating are composed of flammable liquids with a high potential risk of fire and explosion. Accordingly, it is necessary to study the case of actual process through fire simulation on the risk of fire and explosion that may occur in the solvent coating process. In this paper it is expected that it will contribute to minimizing the fire risk through improvement of other facilities and activities during new investment by verifying the heat release rate sprinkler type and fire shutter operation through fire simulation of the Solvent Painting process.

Keywords

solvent paint, fire simulation, mitigation plan, explosion atmosphere

* 부경대학교 소방공학과 박사과정
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2888-8991>
** 부경대학교 소방공학과 교수(교신저자)
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6417-3793>

· Received: Sep. 27, 2022, Revised: Oct. 25, 2022, Accepted: Oct. 28, 2022
· Corresponding Author: Jae-Wook Choi
Room 411, Narae Gwan, Daejeon Campus, 45 Yong so-ro, Nam-gu,
Busan of Korea
Tel.: +82-51-629-6470, Email: jwchoi@pknu.ac.kr

1. 서 론

전자제품 제조업의 경우 소비자들의 요구사항을 충족을 위해 다양한 색상의 전자제품을 생산하고 있으며, 이를 위해 용제도장 공정이 활용되고 있다.

하지만 용제도장 공정에서 사용되는 페인트, 신너 등 대량의 인화성 액체를 지속해서 사용함에 따라 높은 화재폭발의 위험성이 지속 잠재하고 있으며, 생산성 향상을 위해 지속해서 자동화되고 있음에 따라 실제 사례에 대해 위험도 평가에 관한 다양한 사례 분석이 필요하였다[1]-[4]

IEC, KOSHA Guide에서는 가스, 증기의 농도가 폭발 하한의 25%가 넘으면 폭발성 물질로 고려하고 있고 NFPA 499에는 폭발 하한의 10% 이상일 경우 폭발성 물질로 고려하고 있으며, 용제도장 공정은 분무 형태로 다량의 인화성 액체가 취급되고 있어 이러한 폭발성 분위기가 조성되기 쉬운 특성이 있다[5]-[7]

이에 따라 실제 용제도장 공정 내 화재 위험성을 평가하여 적절한 피해 경감방안을 확인하고자 한다.

그림 1의 수행 프로세스는 사업장 현황자료 및 현장조사 결과를 기초로 화재 시나리오를 작성하고 화재 시뮬레이션 분석을 통해 위험과악 및 피해경감 방안을 제시하고자 한다.

II. 시뮬레이션 수행

본 연구는 화재 발생 이후 화재 성상, 화재량, 전파경로 등 위험에 대해 식별을 하고, 피해 경감방안을 제시 및 적용을 통한 피해 규모를 감소하고자 현장점검 및 화재 시뮬레이션을 통해 수행하였다.

2.1 시설 현황

2.1.1 대상 지역

L 사 용제도장 공정을 대상으로 화재 위험성을 평가하였으며, 방화구획과 스프링클러 설치 여부에 따른 위험도를 평가하였다.

2.1.2 공정건축 현황

용제도장 공정은 생산동 1층에 있으며, 방화구획으로 구획되어 있으며, 용제도장 부스는 3개의 스프레이룸, 혼합실, 도장물 이송로, 건조로 등으로 그림 2와 같이 구성되어 있다.

1층과 2층 사이에는 환기 덕트 연결부가 있으나, 방화댐퍼가 설치되어 있으며, 1층과 2층에 설치된 방화 셔터는 Fusible link 타입(작동온도 72°C)으로 설치되어 있다.

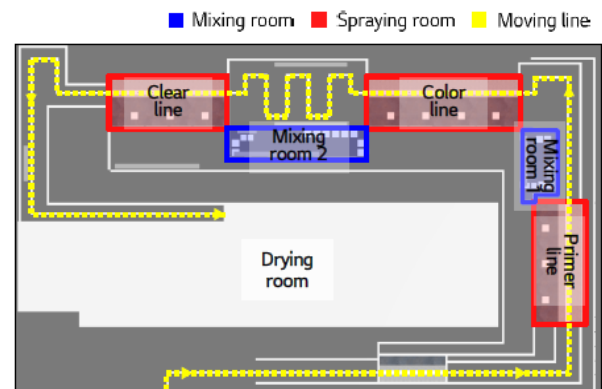


그림 2. 용제도장 공정건축 현황

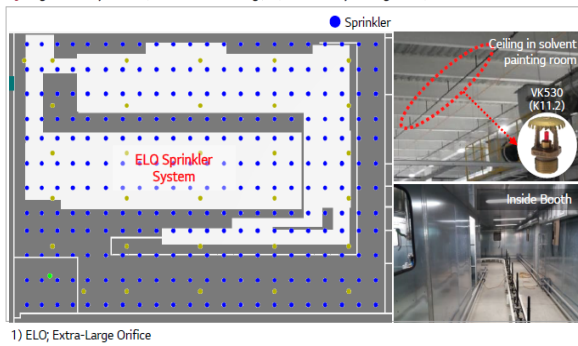
Fig. 2. Construction status of solvent painting process



그림 1. 수행 프로세스

Fig. 1. Process to be performed

용제도장실에는 ELO 스프링클러가 습식으로 그림 3과 같이 설치되어 있으며, 도장 부스 내부에는 스프링클러가 설치되어 있지 않다.(동 프로젝트를 통해 현재는 설치가 된 상태로 운영 중임)



1) ELQ; Extra-Large Orifice

그림 3. 용제도장 스프링클러 설치현황

Fig. 3. Sprinkler installation - solvent painting room

2.1.3 급·배기설비 설치현황

그림 4와 같이 3개의 Roof Top Unit(RTU) 와 배기 팬이 급·배기설비로 설치되어 있다.

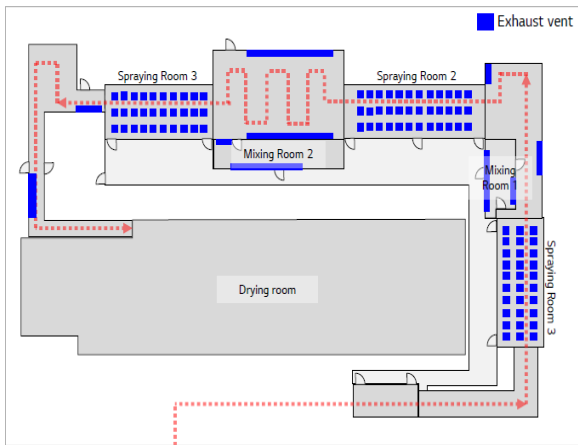
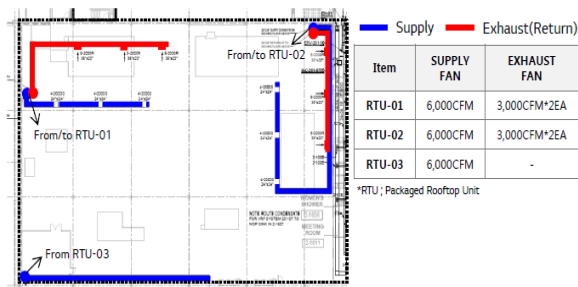


그림 4. 용제도장 급·배기설비 설치현황

Fig. 4. Air circulation unit status of solvent painting

2.2 현장점검

용제도장 공정은 생산동 내 방화구획으로 설치되어 있으며, 건물 내부는 1시간 이상 벽체로 방화구획이 매우 양호하게 구축되어 있으나, 방화 셔터가 Fusible link 방식으로 설치되어 있어 작동지연 우려가 있고, 스프링클러가 천장 내 설치되어 있으나, 부스 내 설치되어 있지 않아 화재 시물레이션 분석을 통해 위험도 분석이 필요했다.

2.3 화재 시물레이션

화재 시나리오 선정 및 분석방법은 화재 발생 장소에 따른 작업형태, 발화점, 화재 성상 및 방호장치 등을 고려하여 화재 시나리오를 선정하여 화재 시물레이션을 수행하였다.

◇ 화재 시나리오 (FDS 평가)

- 화재 발생 위치: 그림 5의 도장 부스 스프레이룸
- 가연물 : 표 1의 용제도장 도료



그림 5. 용제도장 부스

Fig. 5. Solvent paint booth

* 가정사항

- 도장 부스에 점착된 용제도장 도료에 정전기로 인한 화재가 발생하여 철재 패널과 유리창의 손상 및 도장 부스 내 화재전파를 가정하였다.

* 설계화재(Design fire)

- 화재는 ‘Simplified reaction to fire of interior wall, ceiling and floor lining’ 연구보고서를 기반으로 페인트 벽면 200m²에 면적당 화재 열 방출률(PHRR) 160kW를 적용하여 32MW 화재를 설계하였다.

* 세부 화재 시나리오

- 도장 부스 내 스프링클러 설치 여부에 따른 화재양상을 비교하기 위하여 표 2와 같은 2가지 화재 상황을 그림 6과 같이 시물레이션하였다.

4 용제도장 공정의 화재 시뮬레이션을 통한 위험성 분석

표 1. 도료 물리적 성질

Table 1. Painting material physical properties

Property		Painting material	
		Value	Reference
Polyester	Density	1,400kg/m ³	Hanwha Chem-MSDS
	Heat capacity	2.3KJ/kg/K	SFPE 3rd Edition_Appendix C[8]
	Heat of reaction	1,195KJ/kg	SFPE 3rd Edition_Table 3-1.13
	Heat of combustion	32,500KJ/kg	SFPE 3rd Edition_Table 3-4.13
	Soot / CO yield	0.089/0.080	SFPE 3rd Edition_Table 3-4.14
Naphtha	Density	650kg/m ³	Hanwha Chem-MSDS
	Heat capacity	2.2KJ/kg/K	SFPE 3rd Edition_Appendix C
	Heat of reaction	365KJ/kg	SFPE 3rd Edition_Table 3-1.13
	Heat of combustion	44,700KJ/kg	SFPE 3rd Edition_Table 3-4.13
	Soot / CO yield	0.035/0.009	SFPE 3rd Edition_Table 3-4.14

표 2. 용제도장 화재 시나리오

Table 2. Fire scenario in paint booth

Fire scenario no.	Origin	Sprinkler protection	
		Room	Booth
S3-#01	Solvent paint fire	Installed	Not installed
S3-#02		Installed	Installed

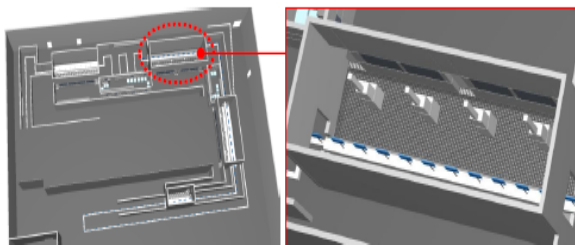


그림 6. 용제도장 부스 화재 FDS 구현 형태

Fig. 6. Visualization of FDS simulation for fire in painting booth

* 화재전파여부 측정

- 손상 및 화재전파 여부를 확인하기 위해 스프레이룸 내 화재 시 도장부스 철재패널 및 유리창에 미치는 온도 및 복사열 영향 및 부스 내 화재전파 여부를 그림 7과 같이 확인하였다.

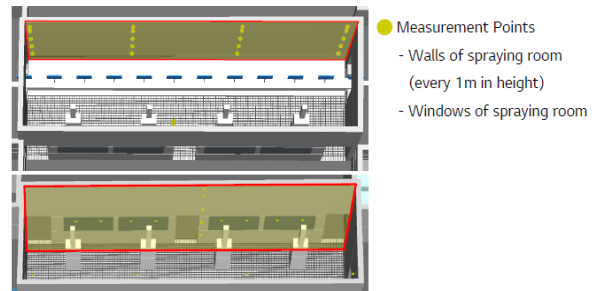


그림 7. 화재전파우려지역(온도 및 복사열 측정)

Fig. 7. Fire spread risk area(Measurement of temperature and radiant heat)

III. 화재 시뮬레이션 결과

도장부스 내 스프링클러 미설치 시 부스 내 전체에 화재전파가 가능하며, 도장실 스프링클러가 작동은 하지만 도장부스 내 화재 진압에 미치는 영향은 미미하였다.

도장부스 내 스프링클러 설치 시 화재는 진압가능하고, 화재발생구역 또한 해당 실에 한정됨을 표 3의 결과를 통해 확인할 수 있었다.

표 3. 용제도장실 화재 시나리오 및 시뮬레이션 결과

Table 3. Results of fire simulation in solvent painting room

Fire scenario no.	Protection		
	Initial operation time	Fire suppression time	Result
S3-#01	102s (Sprinkler in room)	No suppression	Fire propagation possible
S3-#02	25s (Sprinkler in booth)	44s	Fire suppression possible

열방출을 분석결과 그림 8과 같이 도장부스 내에 스프링클러가 설치되어 있지 않은 경우에는 화재가 계속해서 성장하며 전파되어 20MW 이상으로 상승하였다.

용제도장실에 설치된 스프링클러가 작동하지만 도장부스 (밀폐공간) 내 화재는 진압되지 않았고, 도장부스 내에 스프링클러가 설치되어 있는 경우에는 25초에 살수가 시작되어 부스 내에서 화재가 완전히 진압됨을 그림 9와 같이 확인하였다.

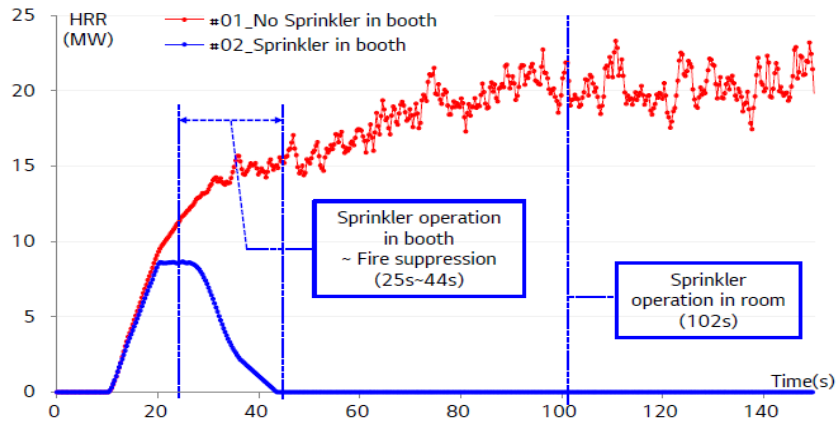


그림 8. S3-#01~02 열방출율 분석
 Fig. 8. S3-#01~02 Analysis of Heat Release Rate (HRR)

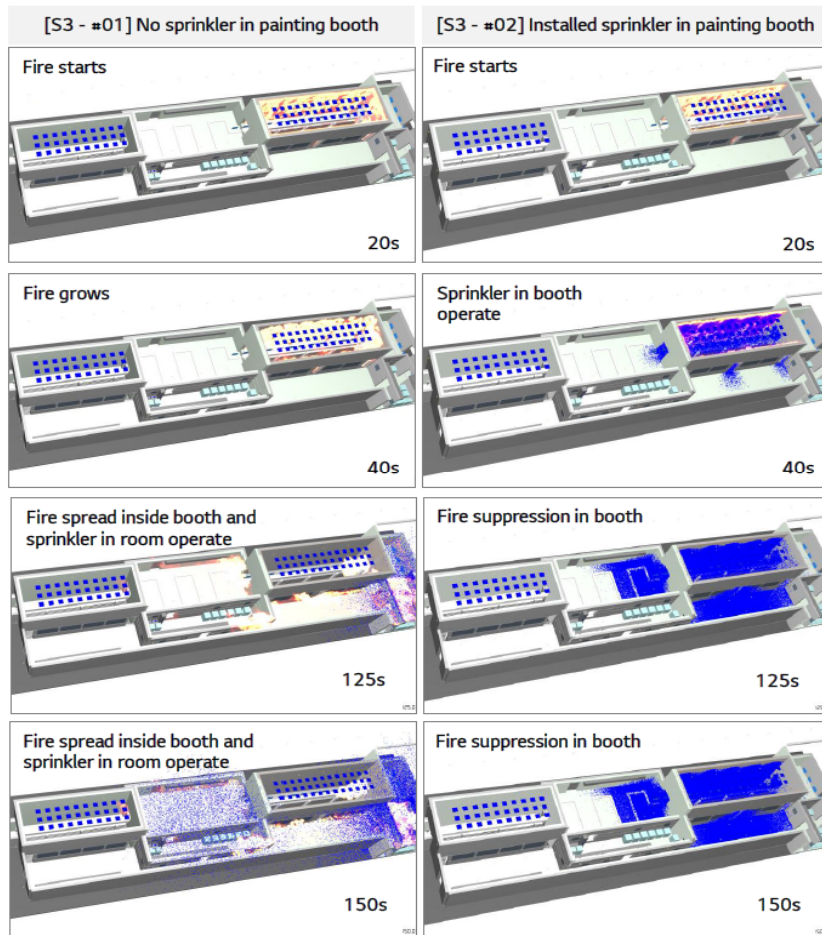


그림 9. 도장부스 내 스프링클러 설치여부에 따른 화재양상
 Fig. 9. Fire pattern according to installation of sprinkler in painting booth

IV. 결론 및 고찰

금번 연구는 화재 시뮬레이션을 통해 화재위험성이 높은 용제도장 공정에 대한 화재발생 시 스프링

클러 설치여부에 따라 화재진압 가능여부에 대한 분석이 진행되었고, 용제도장 공정설치 시 공정 내 뿐만 아니라 도장부스 내에도 반드시 스프링클러의 설치가 필요함을 확인하였다.

이는 해외 재보험사 요구사항인 FM 규정 및 NFPA에서 요구되는 해외문언을 통해 확인하였고, 화재시뮬레이션을 통해 필요성이 타당한 것으로 볼 수 있었다.

건물 구축 후 용제도장 공정이 립의 형태로 설치됨에 따라 누락되는 사례가 발생될 수 있음에 따라 기존의 시설에 대해서는 화재안전의 확보를 위해 개선이 필요하며, 신규로 건축되는 시설에 대해서는 이 부분에 대한 검토가 반드시 필요하겠다.

다만, 인명안전을 확보여부에 대한 검증을 위해 화재발생 시 피난에 대한 평가를 통해 피난을 위한 피난허용시간과 피난완료시간의 분석에 대한 연구를 본 논문의 향후 과제로 한다.

References

- [1] KOSHA, Technical Guidelines for Prevention of Fire and Explosion Hazards in the Painting Process(KOSHA Guide E-28-2014), KOSHA, 2014.
- [2] G. H. Park, S. I. Park, and K. H. Oh, "A study on the explosion and fire risk during the paintings", Proc. of the Korea Institute of Fire Science and Engineering Conference, pp. 149-151, Nov. 2001.
- [3] Gönül Gündüz, Johannes Stickling, and Rolf Rennhack, "Experimental determination and simulation of explosion limits of benzenen-inert gas-air mixtures", Chemical Engineering & Technology, Vol. 18, No. 6, pp. 403-408, Dec. 1995. <http://dx.doi.org/10.1002/ceat.270180606>.
- [4] M. G. Zabetakis, "Flammability Characteristics of Combustible Gases and Vapors", U.S., Bur. Mines Bull., pp. 20-42, 1965.
- [5] IEC, Classification of hazardous areas and installation requirements IEC, 2013.
- [6] KS(Korean Industrial Standrds), Explosive atmospheres - Part 10-1 : Classification of areas - Explosive gas atmospheres, 2017.
- [7] NFPA, NFPA 499 - Recommended Practice for the Classification of Combustible Dusts and of

Hazardous(Classified) Locations for Electrical installations in Chemical process areas, 2017.

- [8] SFPE(The Society of Fire Protection Engineers) 3rd Edition, 2002.

저자소개

이 인 식 (In Sik Lee)



2005년 3월 : 부경대학교
안전공학과 (공학석사)
2018년 4월 ~ 2022년 2월 :
(주)LG전자 미국 안전환경 주재원
2004년 12월 ~ 현재 : (주)LG전자
해외안전지원팀장
2013년 2월 ~ 현재 : 부경대학교

소방공학과 박사과정

관심분야 : Global 안전환경

최 재 욱 (Jae Wook Choi)



1992년 3월 : 동아대학교
화학공학과(공학박사)
2018년 9월 ~ 2020년 9월 :
부경대학교 부총장
1986년 4월 ~ 현재 : 부경대학교
소방공학과 교수
관심분야 : 위험물질, 화재폭발