

도장공정의 위험과 대책

1. 서론

도장은 도료의 종류나 피도물에 따라 특성을 달리하나 피도물에 도료를 균일하게 도포하여 경화된 도막으로 그 물체를 보호하고 외관을 아름답게 하는데 목적이 있다.

최신 도장 기술은 1940년대 이후에 개발되기 시작한 정전도장, 전착도장 등 도장기기의 발달로 이어지면서 현대에는 도막의 경화방법도 자연건조 방법에서 가열건조, 적외선건조 외 자외선 및 전자선을 조사하여 순간적으로 건조시키는 방법에게까지 이르게 되었으며 환경문제와 관련 공해 대책의 일환으로 무용제의 분체도료와 전착도료의 개발이 활발하게 이루어지고 있다.

도장공정은 자동차, 선박, 플라스틱공업, 가구제조업 등 다양한 공업에서 이용되고 있으며 주로 액체 또는 분체도료를 스프레이 하여 건조하는 방법을 사용하고 있다. 도장공정에서 취급하는 물질의 대부분이 인화성 액체이거나 분체로서 유증기 또는 분진에 의한 화재 및 폭발의 위험이 아주 높은 실정이다. 특히 다량의 위험물을 취급, 보관하고 있어 화재시 순식간에 타 공정 또는 건물로 연소확대되고 다량의 유독가스 및 연기가 발생되어 막대한 재산과 인명 피해를 초래하는 특성을 가지고 있다.

2. 도료의 분류 및 구성요소

가. 도료의 분류

도료의 분류법으로서는 분류의 관점에 따라 여러 가지 방법이 있다. 즉, 도장방법, 건조방법, 도막의 성상 및 성능, 도장공정, 용도, 도료의 상태 등에 따라 이를 분류할 수 있다. 이에 따른 분류의 예는 다음과 같다.

분 류 법	대표적인 종류의 명칭(예)
성분(도막 주요소)에 의한 분류	유성도료, 염화비닐수지도료, 에폭시수지도료 등.
안료의 종류에 의한 분류	알루미늄페인트, 광명단페인트, 그라파이트페인트
도료의 상태에 의한 분류	1액형 도료, 2액형 도료, 분체도료
도장방법에 의한 분류	붓 도장용 도료, 스프레이 도장용 도료, 정전 도장용 도료, 전착도료
도장공정에 의한 분류	하도용 도료, 중도용 도료, 상도용 도료
도료의 경화, 건조성상에 의한 분류	자연건조용 도료, 가열 건조용 도료, 자외선 경화용 도료
용도에 의한 분류	선박용 도료, 증방식용 도료, 건축용 도료, 자동차용 도료

나. 도료의 구성요소

도료의 조성을 크게 나누면 수지(resin), 안료(pigment), 용제(solvent), 첨가제(additive)의 4가지 성분으로 분류할 수 있다.

1) 수지(Resin)

수지(Resin, Binder)는 도료의 구성성분 중 가장 중요한 요소 중 하나로 도막의 화학적, 물리적 성질을 지배하는 소지(substrate)에 부착하여 도막을 형성하는 물질이다. 도료가 도장되는 환경 및 피도장체가 사용되는 환경과 요구되는 물성에 따라 아주 다양한 고분자를 도료용 수지로 이용하고 있다. 즉, 도막의 용제에 녹아져 있는 고분자의 상태가 자연건조 후 고체의 도막을 형성하는 비반응형 열가소성 수지(acryl resin, latex 등)가 있고, 저분자 형태로서 열경화에 의해 가교반응 후 도막을 형성하는 열경화성 수지(epoxy resin, urethane resin 등)가 있다.

2) 안료(Pigment)

안료는 도막에 색과 은폐력을 부여하는 미립자 상의 유기 또는 무기화합물로서 크게 분류하면 무기안료, 유기안료로 구분되고, 용도별로 보면 착색안료, 체질안료, 방청안료(녹방지 안료)로 구분할 수 있다.

3) 용제(Solvent)

용제는 도료를 도포하기 쉬운 점도로 만들기 위한 희석제로 도막의 외관, 경화성을 양호하게 유지하기 위하여 사용한다.

4) 첨가제(Additive)

첨가제란 도료의 제조에서부터 도료가 건조되어 내구력을 지속시킬 때까지 각각의 단계에서 도료에 필요한 기능을 발휘할 수 있도록 가하여지는 보조적인 역할을 하는 물질이다.

3. 도장의 종류

도장의 방법에는 여러 가지가 있으나 보편화 되어 있는 도장방법을 열거해 보면 에어스프레이 도장, 에어리스 스프레이 도장, 정전 스프레이 도장, 전착도장, 분체도장 등이 있다.

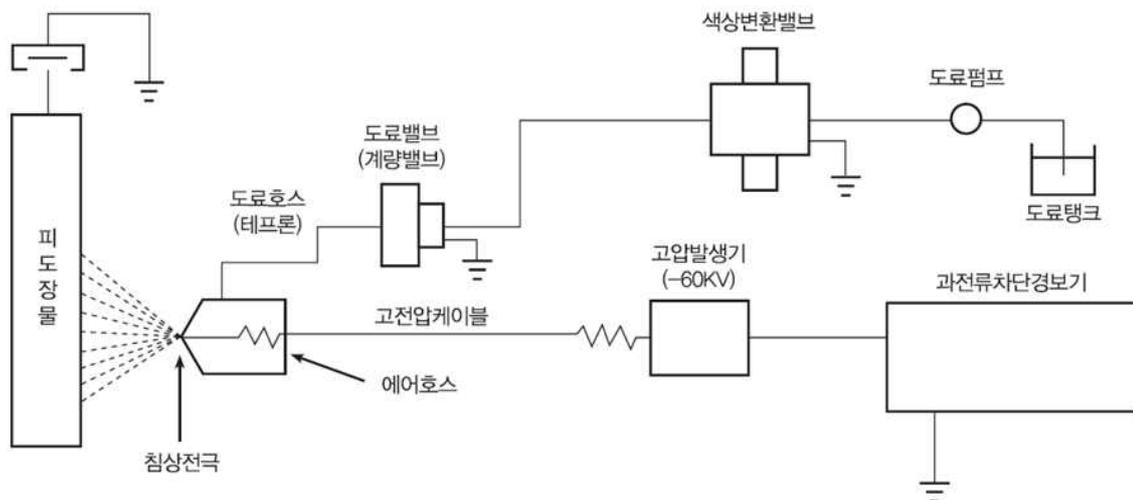
가. 에어스프레이 도장

에너지원으로는 압축공기를 사용하며 공기 약 220ℓ로 도료 1ℓ를 미립화 시킬 수 있으며 다양한 스프레이 패턴과 광범위하게 도료의 점도를 조절하여 도장할 수 있는 장점이 있다. 반면에 에어스프레이 방식은 도료 손실량이 많고 도료 무화를 형성하게 하여 압축공기가 도장물에 부딪혀 튀어 나오면서 상당량의 도료 입자를 손실시키게 된다. 공기 중에 일시적으로 남아 있는 도료 입자는 건조되어 도장물 표면에 묻게 되어 표면이 거친 모양으로 되기 쉽다.

나. 에어리스 스프레이 도장

주로 많은 양의 도료를 보수 도장하거나 보호도장 하는데 사용되며 마감 상태 및 정도에 따라 세밀도를 그리 요하지 않는곳에 사용된다. 1회 도장으로도 두꺼운 도막을 얻을 수 있어 최소의 도장회수로 최소 시간에 넓은 면적을 도장할 수 있다. 미립화된 공기가 반발하지 않아 에어 스프레이에 비해 도료 무화가 상당히 적으며 스프레이 패턴이 훨씬 좁기 때문에 과잉 스프레이 현상이 적다. 여기서 과잉 스프레이라 함은 도장부위의 바깥 부분에 도료가 분사되는 것을 말한다.

다. 정전 스프레이 도장



전기적으로 전하를 띠게 하여 도료 무화 및 과잉 스프레이 현상으로 발생하는 도료 손실을 상당히 줄일 수 있는 도장 방식으로 도장물에 강한 정전기를 적용시켜 인력에 의해 도료 입자를 부착 시키는 원리를 이용한 것이다. 정전 도장기에 사용되는 것은 에어리스 혹은 에어스프레이 방식에 의해 이미 미립화된 도료

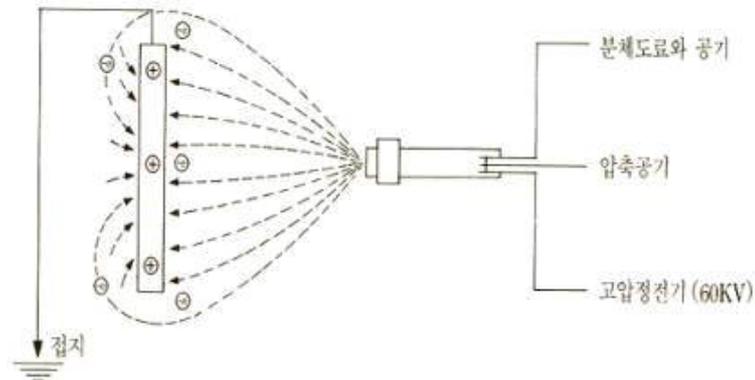
입자에 정전기를 띠게 하는 방법과 원반 혹은 종모양의 회전판, 오목한 곳 끝 부분에 정전 장치를 하여 유출되는 도료 입자가 정전하를 갖도록 하는 방법이 있다. 특히 고전압에 주의 하여야 하며 반드시 지정된 정전신너를 사용하여야 한다.

라. 전착도장

도료와 피도물에 각각 다른 극성의 정전기를 씌워서 도료 속에 피도물을 넣어 도장하는 방법이다. 전기적으로 도장하고 있는 것처럼 생각할 수 있으나 전혀 틀리다. 도료는 반드시 수용성 도료이고 원리는 물을 전기 분해할 때 발생하는 알칼리성을 이용해서 중화반응으로 도막을 형성시킨다. 전착도료에는 일반적으로 음이온 전착도료와 양이온 전착도료가 있다. 음이온 전착도료는 피도물을 (+) 극으로 하고, 양이온 전착도료는 피도물을 (-)극으로 한다. 현재 대부분의 전착도료는 양이온 전착도료로 바뀌고 있으며 음이온 전착도료를 사용하는 케이스는 거의 없는데 이것은 방식성능 때문이다.

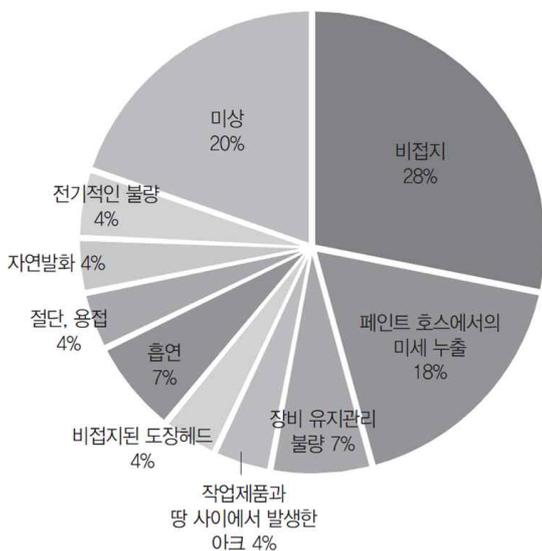
마. 분체도장

고전압 하에서 음(-)으로 대전된 분체를 접지된 피도물에 분사하여 전기적으로 부착시킨 후 가열 용융하여 도막화시키는 방법이며, 그 원리로 보면 용제형의 정전도장과 크게 다를 바 없다. 그리고 한번 부착된 분체도료는 일반적으로 전기 저항이 높아 방전하기 어렵기 때문에 세팅 중에 피도물에서 떨어지는 경우가 없으며, 또한 분체도료는 어느 정도의 두께로 부착하면 분체끼리 서로 반발하게 되어 그 이상의 두께로는 부착하지 않게 되는 성질을 가지고 있다. 이를 정전평형현상이라 부르고 있으며 이러한 현상이 피도물의 도막 두께를 균일하게 해 주는 원리이다.

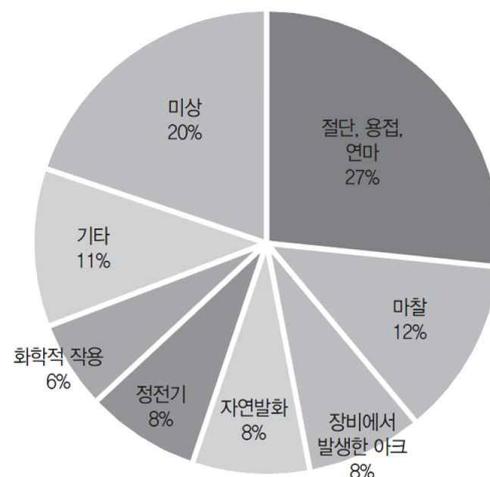


4. 통계분석에 의한 손실원인

다국적 기업의 공장에 대한 보험을 인수하고 있는 FM global의 도장공정 관련 통계에 의하면 도장공정 화재사고의 주요 원인에 대해 알 수 있다.



<정전방식(electrostatic) 분무도장의 재해원인>



<비정전방식(non-electrostatic) 분무도장의 재해원인>

5. 도장공정 설비의 부적정 사례

도장공정 설비의 부적정한 사례는 주로 일반취급소의 방화구획 부적정, 방폭설비 설치 및 관리 상태 부적정 등이 발견되었다.

사례 1 : 위험물 일반취급소의 방화구획 부적정



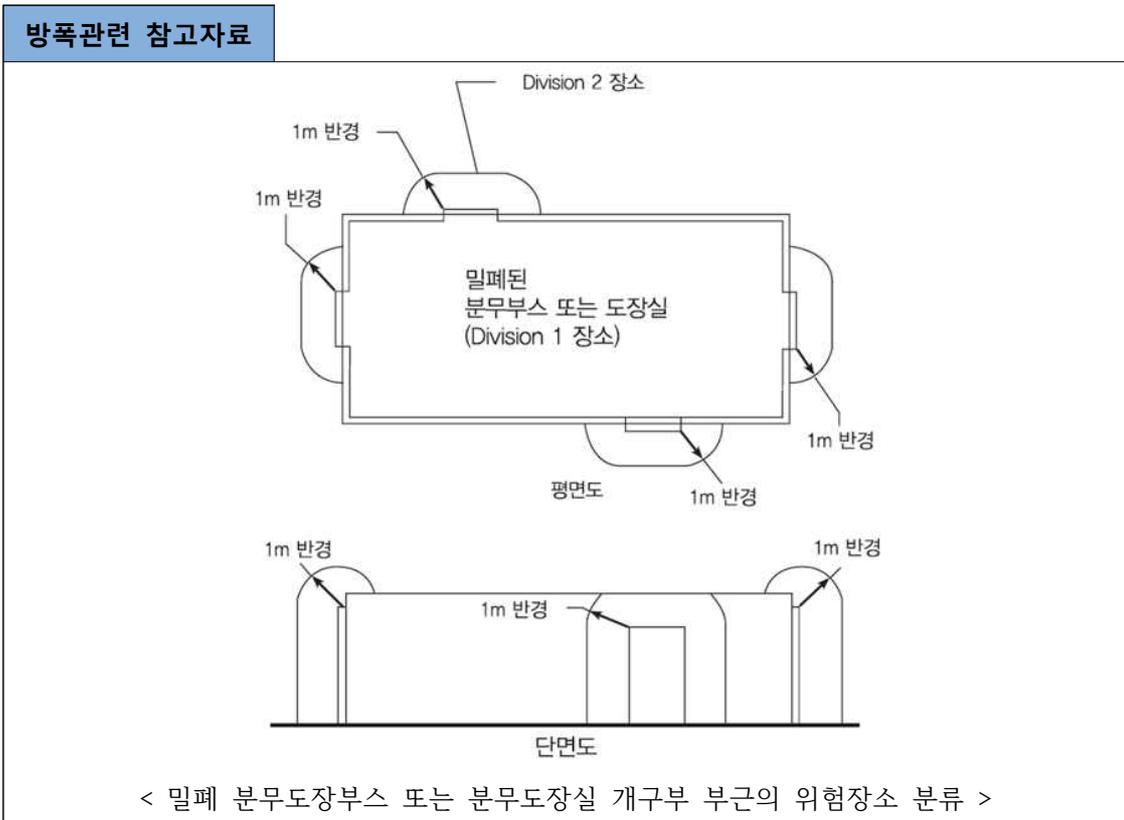
내화벽체를 관통하는 급기덕트에 방화댐퍼가 설치되지 않음.



내화벽체를 관통하는 파이프 관통부 주위의 개구부는 내화성능이 확인되지 않은 재료(합판 등)로 밀폐됨.

위험물안전관리법에서 정하는 일반취급소(지정수량 이상의 위험물을 취급하기 위하여 대통령령으로 정한 장소)는 벽·기둥·바닥·보 및 지붕(상층이 있는 경우 상층의 바닥)을 내화구조로 하고, 출입구 외의 개구부가 없도록 하여야 하며 그 벽체를 관통하는 환기 및 배출설비의 덕트에는 방화댐퍼를 설치하여 당해 건축물의 다른 부분과 구획되어야 한다.

사례 2 : 방폭지역내 전기기계기구 부적정



배합실 내부에 방폭형 전기기계기구가 설치되어 있으나 일부 조인트박스, 플렉시블배관이 비방폭형으로 설치됨.



배합실 내부에 비방폭형 카메라(CCTV)와 시계 설치됨.

산업안전보건기준에 관한 규칙 등 관련 기준에 따라 폭발위험장소를 설정하고, 가스 또는 분진 폭발분위기의 생성빈도 및 지속시간에 따라 적합한 전기기계기구를 설치한다.



도장부스 개구부(출입구)로부터 1m 이내에 비방폭형 전기기계기구 설치됨.



도료공급실 개구부(출입구)로부터 1m 이내에 비방폭형 전기기계기구 설치됨.

사례 3 : 접지(본딩) 부적정

정전기 누적에 의한 스파크 발생을 방지하기 위하여 배합실, 분무도장실(도장부스) 등 폭발위험장소에는 정전기를 유효하게 제거할 수 있는 접지가 설치되어야 하지만 다음과 같이 부적정 사례가 있다.



배합실 내부에 설치된 드럼(페인트 용기), 교반탱크 및 이송펌프에 접지 미설치
이송펌프에 접지 미설치.



전착도장공정의 첨가제(신너) 이송용 펌프설비와 신너용기에 접지 미설치.



도료 또는 신너 이송배관의 플랜지 접합부에 본딩 미설치
미설치.



배합실내 도료탱크와 펌프설비 사이의 플렉시블 이송배관의 외부 도전선이 단선됨.

사례 4 : 폐액(폐신너) 관리 부적정

위험물안전관리법시행규칙 제35조 관련 별표11에 따르면 제1석유류 또는 알코올류를 저장 또는 취급하는 옥외저장소에는 당해 위험물을 적당한 온도로 유지하기 위한 살수설비 등을 설치하도록 되어 있으나 다음과 같이 부적정 사례가 있다.



4류 1석유류과 2석유류가 혼합된 폐신너 드럼을 차광되지 않은 옥외에 보관하고 살수장치 미설치.



폐신너 드럼은 지정된 장소에 보관되어야 하지만 지정되지 않은 장소에 방치됨.

사례 5 : 환기설비의 비상전원 확보 부적정

도장작업이 실시되는 동안 환기설비는 정상 작동상태에 있어야 하며, 작업이 종료된 후에도 30분 이상 환기설비가 계속 작동할 수 있어야 하지만 비상전원설비가 확보되지 않은 경우가 있다.



환기설비용 RTO(Regenerative Thermal Oxidizer)에 상용전원 차단에 대비한 비상전원설비가 설치되지 않음.



환기설비용 활성탄방식의 집진설비에 상용전원 차단에 대비한 비상전원설비가 설치되지 않음.

6. 손실예방 및 피해경감대책

가. 분무도장

- 1) 건물 및 장치 구조
 - 가) 벽, 천장 및 바닥

- (1) 도장작업장을 구획하는 벽, 천장 및 바닥은 불연재료나 준불연재료로 안전하고 견고하게 설치해야 하며, 바닥이 가연재일 경우 불연재료로 덮을 것.
- (2) 도장부스의 내면은 매끄러워야 하고, 잔류물의 침적을 방지할 수 있도록 설계해야 하며 환기, 청소, 세척에 용이할 것.
- (3) 벽 또는 천장이 금속판인 경우 단면의 경우 두께는 1.2mm 이상, 양면의 경우 두께는 각각 0.9mm 이상일 것.
- (4) 도장실은 내화성능이 1시간 이상으로 방화구획해야 하고, 모든 개구부에는 자동폐쇄식 방화문을 설치할 것.

나) 컨베이어

- (1) 컨베이어가 분무도장지역 내·외부를 통과하는데 필요한 개구부의 크기는 최소로 할 것
- (2) 컨베이어 설비가 건물과 건물 사이에 연결되어 있는 경우 연결부위에 스프링클러헤드가 설치된 불연성 또는 준불연성 통로를 설치하고, 바닥을 통과하는 경우 바닥판 아래쪽에 46cm 이상의 방연커튼으로 개구부 주위를 둘러싸야 하며, 방화문 설치가 불가능한 방화구획을 위한 벽을 통과하는 경우 개구부 양쪽에 스프링클러헤드가 설치된 불연성 또는 준불연성 터널을 설치할 것.

다) 기타 작업장과의 이격

- (1) 도장부스는 기타 작업장과 1m 이상 이격하거나 내화성능이 1시간 이상인 벽 또는 바닥/천장으로 구획할 것
- (2) 도장부스는 사방 1m 이상의 공간을 유지해야 하며, 이 공간에는 저장소나 가연성 구조물이 없을 것

2) 전기 및 기타 발화원

가) 조명기구

- (1) 조명기구용 투시판은 안전유리, 망입유리이어야 하며, 증기, 미스트, 잔류물, 분진 및 침전물이 분무도장지역으로 유입되지 않도록 밀봉해야 하고, 투시판의 표면온도가 93°C를 초과하지 않도록 조명기구와의 간격을 유지할 것.
- (2) 도장지역에서 도장작업 중에는 휴대용 조명등의 사용을 금지할 것.

나) 정전기

- (1) 분무도장실이나 분무도장부스 내에 있는 작업자, 전도성 부품, 배기덕트, 분무장치, 피도장물 또는 도료용기, 인화성액체, 가연성액체 또는 가연성 고체 부유물을 운반하는 배관설비 등은 본딩 및 접지할 것.

3) 환기설비

- 가) 모든 분무도장지역에는 기계식 환기설비를 설치하여 증기 및 미스트를 제한하거나 안전한 장소로 제거할 수 있어야 하며, 배기되는 증기나 미스트의 농도는 연소하한계의 25%를 초과하지 말 것.
- 나) 도장작업이 실시되는 동안 환기설비는 정상 작동상태에 있어야 하며, 작업이 종료된 이후에도 대규모 공기 건조의 솔벤트 도장의 경우 30분 이상, 솔벤트 도장의 경우 15분 이상, 수성 및 분체도장의 경우 3분 이상 환기설비가 계속 작동할 것
- 다) 무인 자동분무도장설비는 배기팬이 작동되지 않으면 도료의 분무를 자동으로 정지시킬 수 있도록 인터록시킬 것
- 라) 배기덕트의 재질은 스틸이어야 하며, 배출지점까지 가장 짧은 직선 경로로 시공되고, 방화구획 벽을 관통해서는 안 되며, 배출구는 건물의 외벽이나 지붕에서 1.8m 이상 연장하여 설치하고, 다른 건물의 불연성이나 준불연성 외벽의 비방호 개구부로부터 7.5m 이상 및 다른 가연성 구조물로부터 7.5m 이상 이격할 것.

4) 소방시설

- 가) 도장작업장에는 자동식 소화설비를 설치해야 하며, 연속식 도장작업을 하는 경우 소화설비 작동시 분무도장 작업장 부근에 있는 지구경보장치의 작동과 분무도장설비에 설치된 경보설비의 작동, 도료 이송설비, 모든 분무도장작업의 정지 및 분무도장지역 내·외부로 이동하는 컨베이어가 운전 정지되도록 할 것.
- 나) 도장지역의 급기설비 및 배기설비는 화재경보설비와 연동되지 않고, 화재경보 시에도 계속 작동할 것
- 다) 도장지역 및 배합실에는 습식 스프링클러설비를 설치해야 하고, 도장부스 및 배기덕트 내에 설치된 스프링클러헤드는 화재 시 가장 낮은 온도에서 그리고, 도장부스 외부 천장면의 스프링클러헤드는 141°C에서 작동하는 것일 것
- 라) 스프링클러헤드는 도장부스, 도장실의 측벽 및 건식 도장집진기로부터 1.2m 이내에 설치할 것
- 마) 도장지역 및 배합실의 배기덕트가 분기되어 있는 경우에는 각 부스 배기덕트의 교차부분에 스프링클러헤드를 설치할 것
- 바) 스프링클러설비를 설치할 수 없거나 다른 유형의 소화설비가 분무도장 작업지역 방호에 더 적합한 경우 분말소화설비, 이산화탄소소화설비 기타 가스계소화설비 등으로 분무도장지역 및 배합실을 방호할 것.

사) 발화시 0.5초 이내에 불꽃을 감지하여 도장지역에 있는 고압장치로 공급되는 전력을 차단한 후 도장설비의 전원을 차단시키도록 불꽃감지장치를 설치하여 방호할 것.

5) 유지관리

가) 화재의 지속시간과 강도를 억제하기 위해서는 가연성물질의 퇴적을 최소화할 것

나) 잔류물의 퇴적을 방지하기 위하여 도장부스의 내부, 배기팬 날개, 배기덕트 등은 정기적으로 청소할 것

다) 도료에 젖어 있는 천조각이나 쓰레기는 금속 쓰레기통에 넣어 보관해야 하고, 금속 쓰레기통 내용물은 최소 매일 한번 또는 각 교대시마다 비울 것

라) 세척제의 인화점은 37.8°C보다 높은 것을 사용할 것.

나. 분체도장

1) 위치 및 구조

불연구조이어야 하며, 분체도료가 누출되지 않도록 완전히 밀폐시켜야 하고, 적합한 환기설비를 설치할 것. 또한, 분체도료가 축적되지 않고, 청소가 용이하도록 표면은 매끄럽게 할 것

2) 전기 및 기타 발화원

피도장물을 노에서 예열 시, 피도장물의 표면온도는 사용 분체의 자연발화온도보다 10°C 이상 낮도록 제어되어야 하며, 공정상 고압이 요구되는 전도체를 제외한 분무도장지역에 있는 모든 전도체는 1MΩ 이하로 접지할 것

3) 환기설비

가) 과잉 부유 분체가 덕트를 통해 원거리 분체 회수장치로 이송되는 경우, 배기덕트 안의 분체농도가 최소폭발농도(MEC)의 50% 이하가 되도록 충분한 공기를 공급해야 하고, 분체의 최소폭발농도의 50% 이상으로 도장작업을 실시해야 하는 경우 폭발억제설비를 설치할 것

나) 도장작업장의 회수장치로부터 배출된 공기는 안전한 수준이 되지 않는 한 급기로 재순환되지 않도록 해야 하며, 급기로 재순환되는 공기 중의 분체농도가 안전수준을 초과하는 경우, 경보를 발하고 분무도장작업이 자동 정지될 것

다) 도장부스와 회수장치 외부로 부유 분체가 유출되지 않도록 도장부스에 환기설비를 설치해야 하며, 환기팬이 작동되지 않을 때는 전기설비와 분체공급설비가 작동되지 않도록 환기설비와 연동시킬 것

4) 소방시설

발화시 0.5초 이내에 불꽃을 감지하여 컨베이어, 환기장치, 분무장치, 이송장치 및 집진장치에 공급되는 모든 에너지 공급(전원 및 압축공기)의 차단, 관련 배기 덕트에 설치된 댐퍼를 닫아 분무장치로부터 집진기로 이동하는 기류 차단, 경보 장치를 작동시키도록 불꽃감지장치를 설치하여 방호할 것

5) 건조 및 경화장치

피도장물의 온도는 분체의 자연발화온도보다 10°C 이상 낮게 유지될 것

6) 유지관리

가) 선반, 보, 배관, 후드 및 부스바닥과 같은 수평 표면을 포함하여 분무도장지역을 둘러싼 작업지역 주위에는 분체가 집적되지 않도록 유지관리할 것

나) 표면을 청소할 경우 분체가 분산되거나 분체운이 형성되지 않도록 방폭형 청소기를 이용할 것

다) 조각이나 스파크 발생물질이 도장용 분체와 함께 유입되는 것을 방지하는 장치를 설치할 것

라) 모든 분체도장지역과 분체도로 저장실에는 대조되는 색으로 “금연” 또는 “나화금지”라고 쓴 표지판을 눈에 띄게 부착할 것

참고문헌

- FMDS 7-27, SPRAY APPLICATION OF FLAMMABLE AND COMBUSTIBLE MATERIALS
- 국중균 등 4인, 도장부스의 발화에 관한 연구, 한국화재조사학회 제20회 추계 학술대회
- 임종찬 등 3인, 도료용 수지와 도막의 물성, 고분자과학과 기술 제6권 3호, 1995
- 박조순, 도장이론과 실제, 일진사(2009)
- KFS 645, 도장공정 방화기준, 한국화재보험협회
- KFS 530, 자동차공장 방화기준, 한국화재보험협회
- 자동차공업 위험관리, 한국화재보험협회
- 화재안전점검매뉴얼 제8판, 한국화재보험협회
- 손실예방 방재기술자료 NO. 63, 도장공정, 한국화재보험협회

기고 : 광주호남지부 김용권