

KOSHA GUIDE

E - 171 - 2018

스플래쉬 필링(Splash Filling)으로 인한
정전기 화재사고 예방에 관한 기술지침

2018. 10.

한국산업안전보건공단

안전보건기술지침의 개요

○ 작성자 : 숭실사이버대학교 양원백

○ 제·개정 경과

- 2018년 9월 전기안전분야 제정위원회 심의(제정)

○ 관련규격 및 자료

- 안전보건기술지침 「정전기 재해예방에 관한 기술지침」
- NFPA 77 : Recommended practice on static electricity, 2014 Edition

○ 관련법령·고시 등

- 산업안전보건기준에 관한 규칙 제325조(정전기로 인한 화재 폭발 등 방지)

○ 기술지침의 적용 및 문의

- 이 기술지침에 대한 의견 또는 문의는 한국산업안전보건공단 홈페이지 (www.kosha.or.kr)의 안전보건기술지침 소관 분야별 문의처 안내를 참고하시기 바랍니다.
- 동 지침 내에서 인용된 관련규격 및 자료, 법규 등에 관하여 최근 개정본이 있을 경우에는 해당 개정본의 내용을 참고하시기 바랍니다.

공표일자 : 2018년 10월 11일

제 정 자 : 한국산업안전보건공단 이사장

스플래쉬 필링(Splash Filling)으로 인한 정전기 화재사고 예방에 관한 기술지침

1. 목 적

이 지침은 산업안전보건기준에 관한 규칙(이하 “안전보건규칙”이라 한다) 제325조(정전기로 인한 화재 폭발 등 방지)의 규정에 따라, 스플래쉬 필링에 의한 정전기 화재·폭발사고 형태를 제시하고 예방대책을 수립하기 위해 필요한 사항을 정함을 목적으로 한다.

2. 적용범위

이 지침은 인화성액체를 이송 및 충전하는 공정에 적용한다.

3. 용어의 정의

(1) 이 지침에서 사용되는 용어의 정의는 다음과 같다.

(가) “스플래쉬 필링(Splash Filling)”이라 함은 인화성액체를 용기에 채울 때 액체가 튀기는 현상이 발생할 수 있는 충전방식을 말한다. 여기에는 정전기 대전 원인 중 유동대전과 분출대전이 포함된다.

(나) “정전기 방전(Electrostatic discharge)”이라 함은 인화성 액체를 점화시킬 수 있는 불꽃방전, 코로나방전, 브러시방전 등의 형태로 정전기가 방출되는 것을 말한다.

(다) “인화성액체(Flammable liquid)”라 함은 대기압에서 인화점이 60 ℃ 이하이거나 고온 고압의 운전조건으로 인하여 화재·폭발위험이 있는 상태에서 취급되는 인화성액체를 말한다.

(라) “인화점(Flash point)”이라 함은 액체 표면에서 가연성 혼합물을 형성하여 점화할 정도의 충분한 증기를 발생시키는 최소온도를 말한다.

(마) “도전성(Conductive)”이라 함은 전하를 흐르게 하는 능력을 말하며, 이 지침에서는 도전을 10^4 pS/m 이상(또는 저항률 10^8 Ωm 이하)의 액체를 의미한다.

(주) 도전은 저항의 역수로 $1[S] = 1/[\Omega]$ 이고, S를 지멘스(siemens)라 한다.

(바) “본딩(Bonding)”이라 함은 둘 또는 그 이상의 도전성 물체가 같은 전위를 갖도록 도체로 접속하는 것을 말한다.

(사) “불활성 가스(Inert gas)”라 함은 비 인화성 또는 비 반응성 가스를 말하며, 시스템 내의 인화성 물질이 연소되지 않도록 주입하는 가스를 말한다.

(2) 그 밖에 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 이 지침에 특별한 규정이 있는 경우를 제외하고는 산업안전보건법, 같은 법 시행령, 같은 법 시행규칙, 산업안전보건 기준에 관한 규칙 및 관련고시에서 정하는 바에 의한다.

4. 스플래쉬 필링의 위험성

4.1 일반사항

정전기는 가연성 물질을 취급하는 사업장에서 화재 및 폭발을 유발할 수 있는 점화원으로 작용한다. 특히 비 도전성 인화성액체를 취급하는 사업장에서 스플래쉬 필링(Splash Filling)과 같은 부적절한 취급으로 인해 발생한 정전기가 점화원이 되는 화재가 지속적으로 발생하고 있다. 스플래쉬 필링 과정에서 화재·폭발 위험이 커지는 이유는 다음과 같다.

(1) 유체의 도전율이 50 pS/m 이하일(예: 톨루엔은 1.0 pS/m) 경우 스플래쉬 필링으로 인한 정전기 발생이 증대된다.

(2) 스플래쉬 필링 과정에서 대전된 증기가 발생되고, 이렇게 대전된 증기는 인화점 이하의 온도에서도 화재 및 폭발을 일으킬 수 있다.

(3) 스피래쉬 필링 과정에서 발생하는 거품으로 공기와의 표면적이 증가되고 거품이 공기 중의 질소보다 산소를 쉽게 흡착함으로 일시적이고 국부적으로 폭발범위에 들어갈 수 있다.

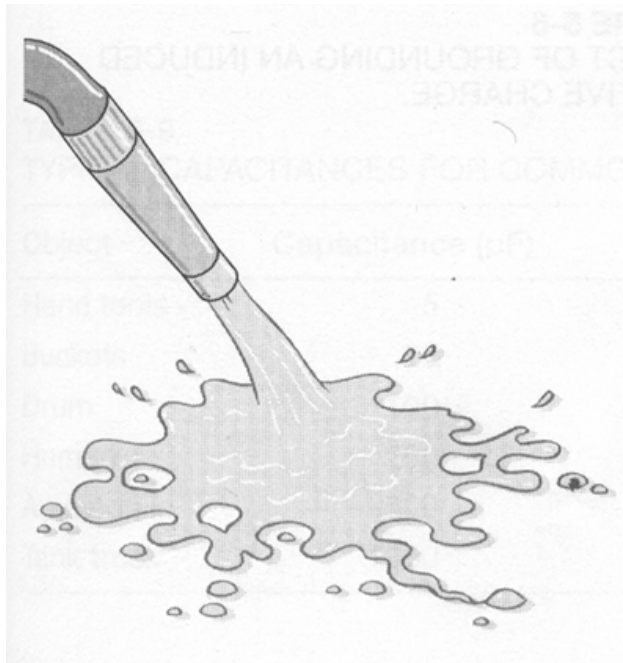
(4) 스피래쉬 필링 과정에서 형성되는 전하밀도는 배관이 액체에 잠긴 상태로 주입할 때 보다 2배 이상 높다.

4.2 스피래쉬 필링에 의한 정전기 발생과정

(1) 비도전성 유체가 <그림 1>과 같이 대기 중으로 낙하할 때, 상당한 크기의 전하가 발생한다.

(2) 스피래쉬 형태일 때 액체가 튀기면서 입자간의 충돌 등으로 정전기가 형성된다.

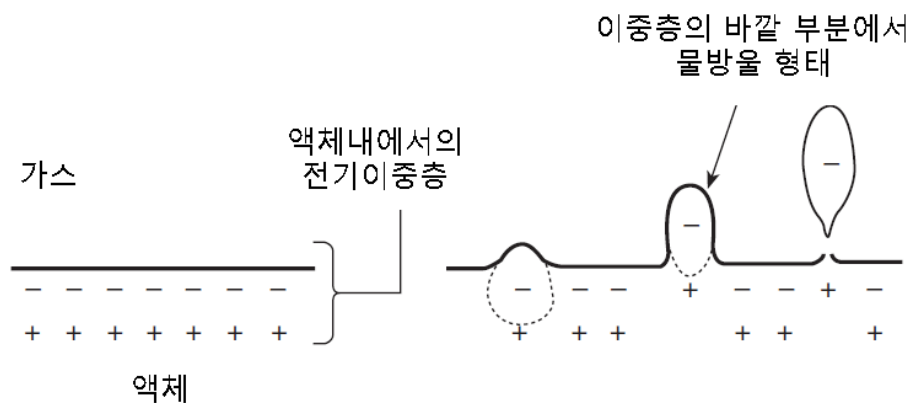
(3) 이러한 정전기가 점화원이 될 수 있다



<그림 1> 스피래쉬 형태

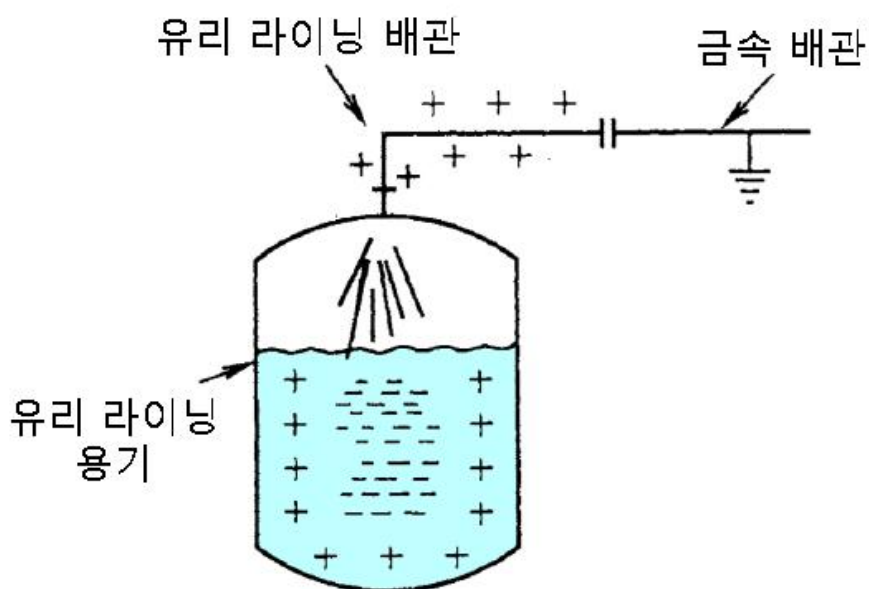
4.3 스프래쉬 필링의 정전기 발생 메카니즘

- (1) 스프래쉬 필링으로 <그림 2>와 같이 액체의 원자화(Atomization)가 발생되며, 원자화를 통해 정전기가 생성된다.



<그림 2> 원자화로 인한 정전기 발생 메카니즘

- (2) 비도전성 유체가 <그림 3>과 같이 금속 배관과 유리 라이닝 된 배관을 통해 용기 상부에서 스프래쉬 필링될 때, 접지된 금속배관에서는 전하가 축적되지 않으나 유리 라이닝된 배관과 유리 라이닝된 용기에는 전하가 축적된다.



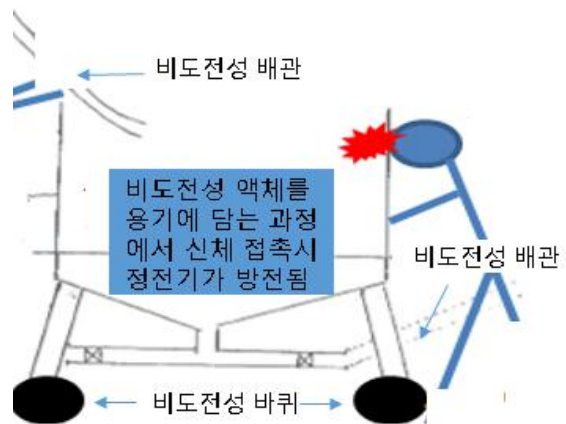
<그림 3> 유리라이닝 배관 및 용기에서 정전기 발생 메카니즘

4.4 스프래쉬 필링의 방전 형태

스프래쉬 필링으로 인해 대전된 정전기는 사람과 주변 금속체를 통해 방전되고, 이와 같이 방전되면서 발생된 스파크가 점화원이 되어 화재폭발 사고를 일으킬 수 있다.

4.4.1 사람을 통한 방전

- (1) 일반적으로 사람이 걸어 다니면 신발과 바닥, 옷과 옷 등의 마찰에 의해 발생된 정전기가 유도대전으로 인체에 축적되며 경우에 따라 수[kV] 이상으로 대전되어 화재폭발을 일으킬 수도 있다.
- (2) 산업현장에서 발생하는 정전기 화재 발생의 대부분은 위와는 달리 사람이 대전된 물체에 접촉하거나 근접할 경우에 발생하게 되는데, 이때 물체에 대전된 정전기의 화재 발생가능성은 유도 또는 직접 방전될 때 발생하는 에너지의 크기와 관련된다.
- (3) 스프래쉬 필링은 위의 (2)에 관련되는 것으로써, 축적된 정전기가 사람을 통해 방전되는 과정은 다음과 같다.
 - (가) 비도전성 인화성액체를 취급하는 반응기, 교반기, 제품 포장 용기 등에 스프래쉬 필링하는 과정에 연소(폭발) 분위기가 조성된다.
 - (나) 유연 호스 등의 비 도전성 재질의 배관이 사용되고, 반응기는 글라스 라이닝(Glass Lined)되어 있으며, 200리터 드럼 등의 포장 설비는 우레탄 바퀴가 있는 이동 대차에 실리거나 비도전성 플라스틱 팔레트 위에 포장 용기가 위치한다.
 - (다) 이와 같은 취급 용기가 접지 및 본딩되지 않은 상태로 있다.
 - (라) 스프래쉬 필링 방식으로 비도전성 유체를 이송할 때 설비에 대전되고 정전기 축적이 발생한다.
 - (마) 사람이 설비 주변에 <그림 4>와 같이 근접하거나 접촉하면 생성된 정전기가 방전되면서 화재가 발생할 수 있다.



<그림 4> 사람을 통한 방전 사고 예시

4.2.2 비도전성 용기에서 주변 금속을 통한 방전

일반적으로 인화성액체를 취급할 때 비도전성 용기를 사용해서는 안 된다. 스프레이 필링 방식으로 비도전성 용기에 인화성액체를 충전하는 과정에서 용기 표면에 정전기가 대전되고, 대전된 정전기가 비도전성 공정 용기 주입구의 금속 깔대기 또는 외부 보호용 금속을 통해 방전된 정전기가 점화원이 되어 화재가 발생할 수 있다.

도전성 벌크 탱크는 비도전성 재질의 용기와 비교하여 가격이 비싸며, 다량의 벌크 용기를 사용하는 사업장에서는 이러한 이유로 비도전성 용기에 비도전성 액체를 스프레이 필링 방식으로 이송하는 과정에서 화재가 발생 한다

비도전성 용기를 사용할 때 주변 금속을 통해 방전되는 과정은 다음과 같다.

- (1) 비도전성 인화성액체를 취급하는 비도전성 용기 등에 스프레이 필링하는 과정에 연소(폭발) 분위기가 조성된다.
- (2) 스프레이 필링 방식으로 비도전성 유체를 이송할 때 설비에 대전되고 정전기 축적이 발생한다.
- (3) 사람을 통한 방전과 상관없이 <그림 5>와 같이 주변의 금속 깔때기 또는 외함 보호용 금속을 통해 대전된 정전기가 방전되어 화재가 발생할 수 있다.



<그림 5> 비도전성 용기의 주변 금속을 통한 방전 사고 예시

5. 스플래쉬 필링 사고 예방 대책

5.1 일반사항

일반적으로 정전기에 의한 화재사고의 발생원인은 다음과 같다

- (1) 전하가 생성되는 과정이 있다.
- (2) 생성된 전하를 축적시킴으로써 전위차가 발생하는 과정이 있다.
- (3) 에너지의 방전이 발생한다.
- (4) 인화성 물질이 연소범위 내에 존재한다.

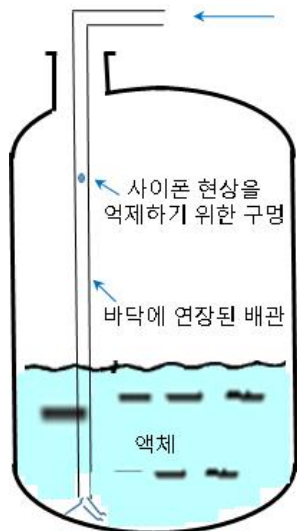
5.2 스플래쉬 필링에 의한 사고 예방대책

5.2.1 사람을 통한 방전에 의한 사고 예방대책

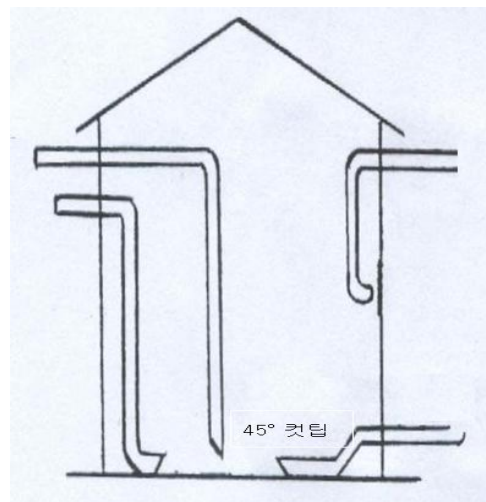
(1) 대전의 원인이 되는 스플래쉬 필링이 이루어지지 않도록 비도전성 액체의 충전 방법을 다음과 같이 변경한다.

(가) 물방울이 튀기는 충전방식과 상향 분사를 억제하고, <그림 6> a와 같이 충전 배관은 탱크 바닥까지 연장하여 설치한다.

(나) <그림 6> b와 같이 배관의 끝단은 45° 컷 팁(Cut Tip) 또는 티를 적용하여 액체의 흐름을 수평으로 전환한다.



a

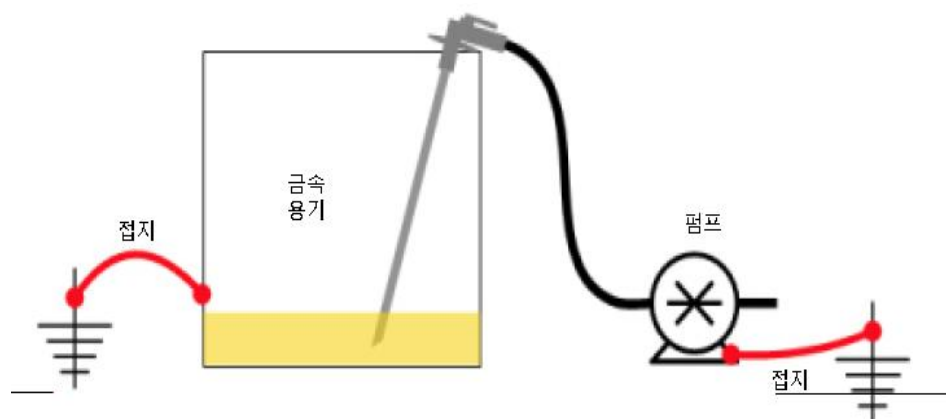


b

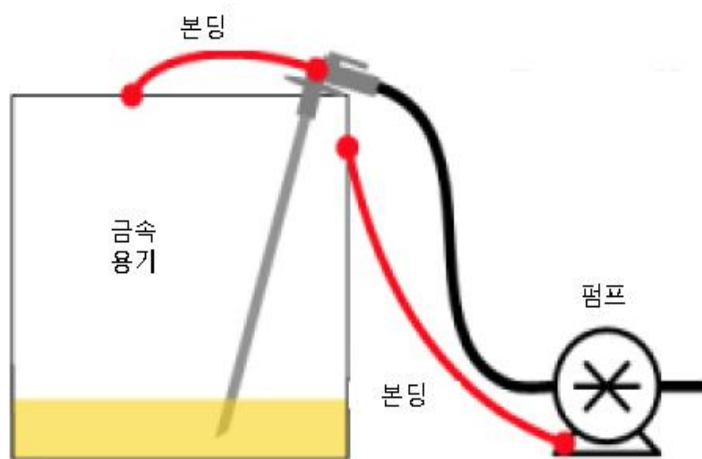
<그림 6> 스플래쉬를 줄이기 위한 충전 방법

(다) 충전 초기단계에서의 와류를 줄이기 위해 유속을 제한하되, 그 유속은 액위가 인입 파이프 직경의 2배로 될 때까지 1 m/s를 넘지 않도록 한다.

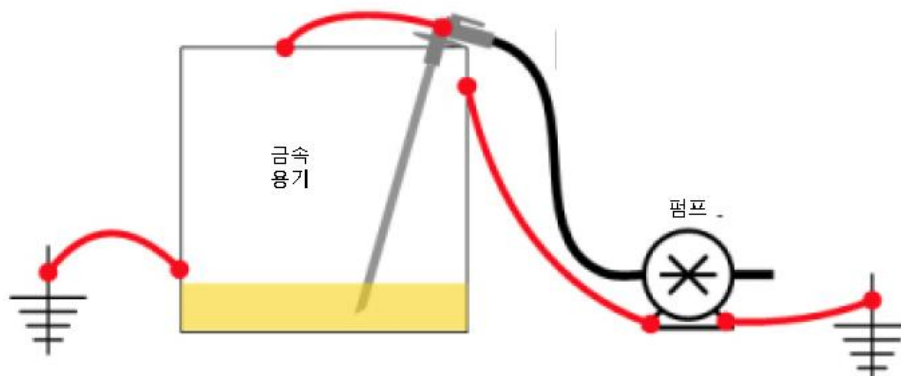
(2) 생성된 전하가 축적되는 위험을 줄이기 위하여 <그림 7>과 같이 접지하고, 전하가 축적되더라도 전위차가 발생하지 않도록 <그림 8>과 같이 본딩하여, 전체적으로 설비를 <그림 9>와 같이 접지하고 본딩하여야 한다.



<그림 7> 접지 시공 예시



<그림 8> 본딩 시공 예시



<그림 9> 접지와 본딩 시공 예시

(3) 인화성 물질이 공기 중에 노출되지 않도록 용기의 맨홀이 개방되지 않도록

관리하고, 뚜껑 등 개방된 부분이 있다면 덮개를 설치하여 인화성 물질이 공기 중에 노출되지 않도록 한다.

5.2.2 비도전성 공정 용기에서 방전에 의한 사고 예방대책

- (1) 비도전성 인화성액체를 취급하면서 비도전성 공정 용기를 사용할 때 용기 표면에 대전된 전하가 방전되어 화재 위험이 있으므로 비도전성 인화성액체를 취급 할 때는 비도전성 공정 용기를 사용해서는 안 된다.
- (2) 비도전성 용기가 사용되고, 용기 주위의 대기에 점화할 위험이 있다면, 전하가 축적되고 방전되는 것을 방지하기 위해 다음 기준을 만족하여야 한다.
 - (가) 모든 도전성 부품(예: 금속테두리, 해치커버)은 본딩하고 접지를 한다.
 - (나) 비도전성 액체를 저장하는 용기는 외부로부터의 방전을 막기 위해서, 용기 벽속에 접지된 와이어 메시를 매설하거나 도전성 쉴드로 용기 외부 표면을 둘러싼다. 그리고 탱크 단위 체적(m^3)당 $500\ m^2$ 이상의 금속판을 탱크 바닥에 설치하고 이를 접지 도체와 본딩시킨다.
 - (다) 도전성 액체를 저장하는 용기에는 공급배관(Fill Line)을 탱크 바닥까지 연장하거나(Dip Piping), 용기 내부의 상부에서 바닥까지 접지케이블을 연결한다.