

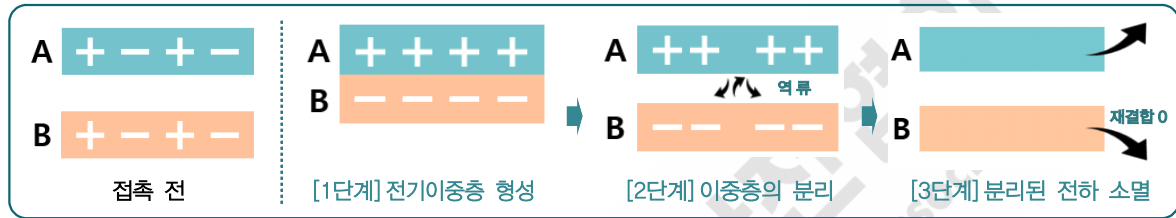
1. 정전기(Static Electricity)란?

1.1 정전기 정의

- 공간의 모든 장소에서 전하의 이동이 전혀 없는 전기[정지한 전기, 전하들이 대전된 상태]
- 전하의 공간적 이동이 적고, 그것에 의한 자계*효과가 전계효과에 비해 무시할 수 있을 만큼 적은 전기

1.2 정전기 발생구조

두 물체의 접촉으로 인한 정전기 **대전현상**은 아래의 3단계 과정이 연속적으로 일어날 때 발생한다.



1.3 정전기 대전서열

대전되기 쉽다 (+)				대전되기 어렵다				(－) 대전되기 쉽다			
사람손	유리	머리카락	나일론	면	양피	알루미늄	폴리에스테르	종이	나무	철	아세테이트
								동	스테인레스	고무	아크릴
								폴리우레탄	합성섬유	폴리프로필렌	폴리에틸렌
								염화비닐	실리콘	테플론	

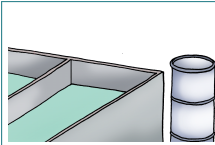
1.4 정전기 발생에 영향을 주는 요인



2. 정전기로 인한 화재·폭발 위험장소

위험물을 탱크로리·탱크차 및 드럼 등에 주입하는 설비	탱크로리·탱크차 및 드럼 등 위험물저장설비	인화성 액체를 함유하는 도로 및 접착제 등을 제조·저장·취급 또는 도포(塗布)하는 설비	위험물 건조설비 또는 그 부속설비	인화성 고체를 저장하거나 취급하는 설비
--------------------------------------	--------------------------------	---	---------------------------	------------------------------

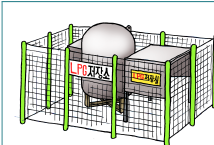
* 자계 : 자극 주위나 전류가 흐르는 도선 주위에 생기는 자기력이 작용하는 공간



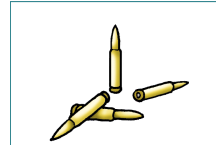
드라이클리닝설비, 염색
가공설비 또는 모피류
등을 씻는 설비 등 인
화성유기용제를 사용하
는 설비



유압, 압축공기 또는
고전위정전기 등을 이
용하여 인화성 액체나
인화성 고체를 분무하
거나 이송하는 설비



고압가스를 이송하거나
저장·취급하는 설비



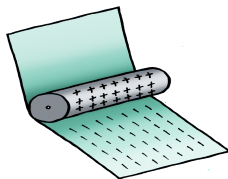
화약류 제조설비



발파공에 장전된 화약류
를 점화시키는 경우에
사용하는 발파기
※ 발파공을 막는 재료로
물을 사용하거나 경도발
파를 하는 경우는 제외

3. 정전기 발생종류

3.1 마찰대전



- ✓ 마찰대전은 물체가 마찰을 일으킬 때 마찰에 의해서 접촉위치가 이동하며, 전하 분리에 의해 정전기가 발생하는 현상이다.
- ✓ 마찰대전은 접촉, 분리의 2가지 발생과정을 거쳐 정전기가 발생하는 대표적인 예로 고체, 액체 또는 분체류에 정전기가 발생하는 것은 주로 이것에 의한 것이다.

- ✓ 예시 : 유리봉을 면으로 마찰을 하면 유리봉에는 +, 면에는 - 정전기가 발생한다.
※ 마찰 시 정전기 대전서열[1.3]에 따라 왼쪽은 +, 오른쪽은 - 정전기가 대전된다.

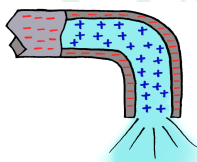
3.2 박리대전



- ✓ 박리대전은 서로 밀착해 있는 물체가 박리되었을 때 전하분리가 일어나서 정전기가 발생하는 현상이다.
- ✓ 박리대전은 접촉면적, 접촉면의 밀착력, 박리속도 등에 의해서 정전기의 발생량이 결정된다.
※ 일반적으로 마찰대전보다 큰 정전기가 발생한다.

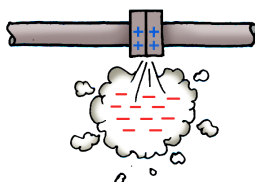
- ✓ 예시 : 옷을 벗거나 비닐 등을 벗길 때 정전기가 발생한다.

3.3 유동대전



- ✓ 유동대전은 액체류가 파이프를 통해서 이동할 때 정전기가 발생하는 현상이다.
- ✓ 액체류가 파이프 및 호스 등의 고체와 접촉하면 액체류와 고체와의 계면**에 전기이중층이 형성되고 이 전기이중층을 형성하는 전하의 일부가 액체류의 유동과 함께 흐르기 때문에 정전기가 발생한다.
- ✓ 액체류의 유동속도가 정전기의 발생에 영향을 준다.(속도가 빠를수록 발생량 증가)

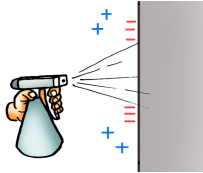
3.4 분출대전



- ✓ 분출대전은 분체류, 기체류, 액체류 등이 단면적이 작은 관 등을 통해서 분출할 때 마찰이 일어나는 현상이다.
- ✓ 정전기 발생요인은 분출되는 관과의 마찰 뿐만 아니라 분체류, 액체류끼리의 충돌 및 가늘게 비산해서 비말(飛沫, Spray) 상태가 되는 것도 영향이 있는데 일반적으로 후자의 원인에 의해서 많은 정전기가 발생한다.
- ✓ 액체가 분사될 때 순수한 가스 자체는 대전현상을 나타내지 않지만, 가스 내에 이물질(먼지(dust), 미스트(mist) 등)이 혼입되면 분출 시에 대전한다.

** 계면(界面) : 균일한 액체와 고체의 위상이 다른 균일한 상과 접하고 있는 경계이다.

3.5 충돌대전

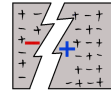


✓ 충돌대전은 분체류와 같은 입자끼리 또는 입자와 고체와의 충돌에 의해서 빠르게 접촉, 분리가 행해지기 때문에 정전기가 발생하는 현상이다.

3.6 파괴대전



파괴 전



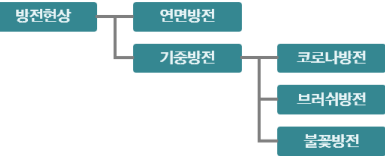
파괴 후

✓ 파괴대전은 고체, 분체류와 같은 물체가 파괴될 때 전하분리 또는 전하의 균형(정·부)이 무너져 정전기가 발생하는 것을 말한다.

4. 정전기 방전

정전기의 대전물체 주위에는 정전계가 형성된다. 이러한 정전계가 공기의 절연 파괴 강도(직류 : 약 30kV)에 도달하게 되면 공기의 절연 파괴현상, 방전이 일어나게 된다. 방전이 일어나면 대전체에 축적되어 있는 정전에너지는 방전에너지로써 공간에 방출되어 열, 파괴음, 발광, 전자파 등으로 변환되어 소멸된다.

방전현상은 대전체의 표면을 따라 발생하는 연면방전과 대기 중에서 발생하는 기중방전 2종류가 있다.

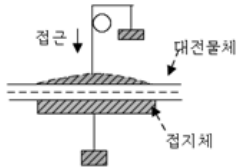


〈방전현상의 종류〉

종 류

특 성

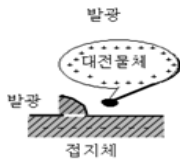
연면 방전



✓ 일반적으로 절연체의 표면에 발생하는 방전현상으로 공기 중에 놓여진 절연체 표면의 전계강도***가 큰 경우에 고체표면을 따라서 진행되는 발광이 동반된 방전을 말함.
✓ 드럼(Drum)이나 싸일로(Silo)의 분진이 높은 전하를 보유할 때 발생

✓ 방전에너지가 높음
✓ 화재, 폭발 위험성이 매우 높음
✓ 재해나 장애의 주요 원인

코로나 방전



✓ 곡률반경이 작은 도체(직경 5mm 이하)에 정전기가 축적되면 전위가 높아지게 되고 고체표면의 전위강도가 일정치를 넘어서면 낮은 소리와 연한 빛을 수반하는 방전이 발생함.
✓ 침상물체에서 주로 발생

✓ 0.2mJ로 방전에너지가 적음
✓ 가스나 증기 미점화
※ 민감한 물질은 점화 가능

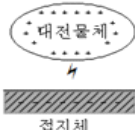
브러쉬 방전



✓ 곡률반경이 큰 도체(직경 10mm 이상)와 절연물질(고체, 기체)이나 저전도율의 액체 사이에서 대전량이 많을 때 발생하는 수지상의 발광과 펄스상의 파괴음을 수반하는 방전을 말함.

✓ 4mJ까지 방전에너지 발생
✓ 화재, 폭발 위험성이 높음
✓ 가스, 증기 또는 민감한 분진에서 화재, 폭발을 일으킴

불꽃 방전



✓ 불꽃방전은 표면의 전하밀도가 아주 높게 축적되어 분극화된 절연판 표면 또는 도체가 대전되었을 때 접지된 도체사이에서 발생하는 강한 발광과 파괴음을 수반하는 강력한 용량성 방전을 말함.

✓ 방전에너지가 높음
✓ 화재, 폭발 위험성이 매우 높음
✓ 재해나 장애의 주요 원인

*** 전계강도 : 전파(電波)가 전파(傳播)될 때 전파(電波)의 세기를 단위면적당 에너지로 표시한 것

5. 정전기 장해

5.1 화재 · 폭발

화재 · 폭발은 정전기의 방전현상에 의한 결과로 가연성 물질이 연소되어 일어나는 현상이다. 그러나, 정전기 방전이 일어났다 하더라도 그 방전에너지가 가연성물질의 최소 착화 에너지보다 작을 경우에는 화재 · 폭발은 일어나지 않는다.

일반적으로 화재 · 폭발은 대전물체가 도체일 경우에는 대전에너지에 관련되고, 부도체일 경우에는 대전에너지보다는 대전전위에 관련되나 정확한 기준을 제시하기는 어렵다.

〈가스 및 증기의 인화성 연소특성〉

물질명	폭발한계[Vol %]		최소착화 에너지[mJ]
	하한계	상한계	
메 탄	5.0	15.0	0.21
에 탄	3.0	12.5	0.24
프로판	2.1	9.5	0.25
부 탄	1.6	8.4	0.25
헥 산	1.1	7.5	0.24
벤젠	1.3	8.0	0.2
수소	4.0	75.0	0.016
아세틸렌	2.5	100.0	0.017
이황화탄소	1.0	50.0	0.009
메탄올	6.0	36.0	0.14

5.2 전격(Electric Shock)

대전된 인체에서 도체로, 또는 대전물체에서 인체로 방전되는 현상에 의해 인체 내로 전류가 흘러 나타나는 현상을 말한다.

대부분이 전격사로 이어질 만큼 강렬한 것은 아니나, 전격시 받는 충격으로 높은 곳에서 추락 등 2차적 재해를 일으키는 요인으로 작용하기도 하며, 또한 전격에 의한 불쾌감 · 공포감 등으로 인해 생산성이 저하되는 원인이 되기도 한다.

〈인체의 대전전위와 전격의 강도〉

대전전위[kV]	전격의 강도
1.0	전혀 느끼지 못한다.
2.0	손가락 끝부분에 느껴지지만 통증이 없다.
3.0	따끔한 통증을 느낀다. [바늘로 찔린 느낌]
4.0	손가락에 통증을 느낀다. [바늘로 깊이 찔린 느낌]
5.0	손바닥에서부터 팔꿈치까지 통증을 느낀다.
6.0	손가락에 강한 통증을 느끼고, 팔이 무겁게 느껴진다.
7.0	손가락과 손바닥에 강한 저림을 느낀다.
8.0	손바닥에서부터 팔꿈치까지 저림을 느낀다.
9.0	손목에 강한 통증과 손이 저린 중압감을 느낀다.
10.0	손 전체에 통증을 느낀다.
11.0	손가락에 강한 저림과 손 전체에 통증을 느낀다.
12.0	손 전체가 세계 얻어맞은 느낌을 받는다.

6. 정전기 대전방지대책

6.1 인화성 혼합물의 관리

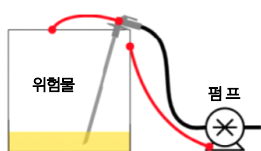
인화성 혼합물 : 정(靜)전하 방전에 의해 점화될 수 있는 가스-공기, 증기-공기 및 분진-공기 혼합물 또는 그 혼합물의 조합

- ① 제거 : 정전기에 의한 점화가 가능한 지역에서 인화성 혼합물을 제거한다.
- ② 불활성화 : 인화성 혼합물이 존재하는 용기내부에 위험 분위기를 없애기 위해 불활성 가스를 주입하여 산소부족 상태로 만든다.
정상운전 상태에서 폭발상한을 넘는 혼합물의 용기는 폭발범위 내로 변경될 경우 불활성 가스를 주입할 수도 있다.
- ③ 환기 : 환기는 인화성 물질의 농도를 가스 또는 증기의 경우 폭발하한 이하, 분진의 경우 최소폭발농도 이하로 희석시키기 위해 사용한다. 일반적으로, 공기를 이동시켜 인화성 물질의 농도를 폭발하한의 25% 이하로 희석시키는 방법이다.
- ④ 장비의 재배치 : 정전기 축적이 우려되는 장치가 폭발위험장소 내에 반드시 있어야 하는 것이 아니라면, 이러한 장치를 안전한 장소로 재배치하는 것이 효과적이다.

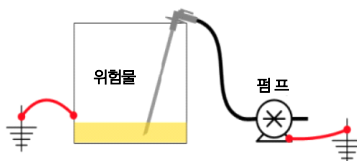
6.2 전하의 소멸

① 본딩 및 접지

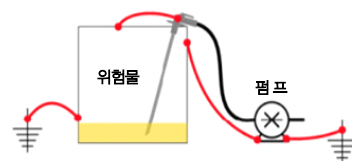
– 본딩은 도전성 물체 사이의 전위차를 줄이기 위해 사용되고, 접지는 물체와 대지 사이의 전위차를 같게 하는 것이다.



본딩(Bonding)



접지(Grounding)



본딩 & 접지

- ② 습도 조절 : 많은 물질의 표면저항은 주위 습도에 의해 제어가 가능하며, 65% 이상의 습도에서 대부분의 물질은 정전기의 축적을 방지하기에 충분한 표면 도전율을 갖는다.
※ 하지만, 습도가 30% 이하로 떨어지면 양질의 절연체가 되어 전하의 축적이 증가하게 된다.
- ③ 전하의 이완과 대전방지**** 처리
- 물질의 특성에 따라 정전기 전하를 소멸 또는 이완시키는데 일정한 시간이 필요하다. 대전된 물체 또는 물질을 위험한 지역으로 옮기기 전에는 전하를 이완시킬 수 있는 충분한 시간을 필요로 한다.
 - 전하의 이완은 전하를 이동시키기 위한 접지경로가 있어야만 가능하다.
 - 비도전성 물질은 도전제를 첨가하거나 표면에 흡습성 약품(Hygroscopic agents)을 첨가하여 정전기 전하를 소멸시키는 데 충분한 도전성을 갖게 할 수 있다.
 - 플라스틱이나 고무의 도전율을 높이기 위해 카본블랙을 첨가할 수 있다.
 - 대전방지 첨가제는 전하의 이완을 촉진시키기 위해 유동성 액체나 입자상의 분체 속에 혼합하여 사용할 수 있다.
 - 흡습제의 코팅은 대기 습분(moisture)을 흡수하여 절연체의 표면을 도전성으로 만들 수 있으나, 이 코팅은 쉽게 벗겨지거나 시간 흐름에 따라 그 효과를 잃을 수 있다. 그러므로 정전기 전하의 축적을 일시적으로 감소시키는 경우에만 사용한다.

6.3 전하의 중화[제전기 사용]

공기를 이온화시키는 이온 발생장치(ionizer)를 사용하여 중화시킨다. 이온 발생장치는 정전기의 발생을 억제하는 것이 아니라, 발생된 전하를 중화시키기 위해 반대 극성의 이온을 제공하는 장치이다.

- ① 제전원리 : 제전기를 대전체 근처에 설치하면 제전기에서 생성된 이온(정·부이온) 중 대전물체와 역극성의 이온이 대전물체의 방향으로 이동해서 이온과 대전물체의 전하가 재결합하여 중화가 이루어진다.
- ② 기준
- 최소 착화에너지 수 $10\mu\text{J}$ 인 가연성 물질 : 대전전위 1kV 이하
 - 최소 착화에너지 수 $100\mu\text{J}$ 인 가연성 물질 : 대전전위 5kV 이하
 - 전격방지 : 대전전위 10kV 이하
- ③ 제전기의 종류 및 특징

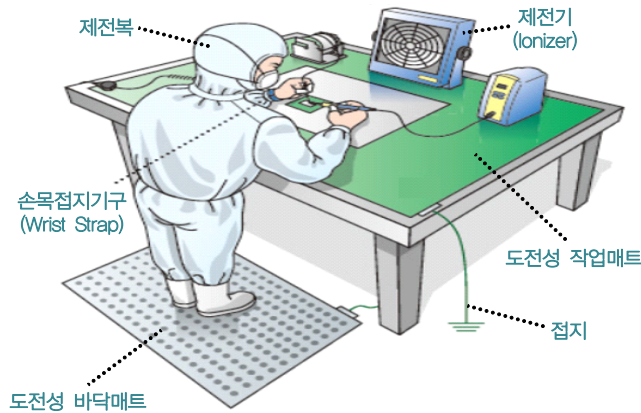
종 류	이온 생성방법	특 징	사 용 예
전압인가식	고전압이 인가되어 침상전극에서 코로나 방전이 발생하고 방전에 의해 이온이 생성(직류식/교류식으로 분류)	✓ 제전능력이 가장 큼 ✓ 전류제한장치 설치 필요 ※ 단락사고 대비(교류식)	✓ 필름, 종이, 포 등 표면대전 물체의 제전
자기방전식	대전물체의 정전기에 의한 전계를 접지한 침상전극에 모으고 그 전계에 의해 기체를 전리시켜 제전에 필요한 이온을 생성	✓ 전원 불필요 ✓ 안전성이 높음 ✓ 대전전위가 낮으면 제전 불가능한 경우도 존재	✓ 필름, 종이, 포 등 표면대전 물체의 제전
방사선식	방사선의 공기전리작용*****을 이용하여 제전에 필요한 이온을 생성	✓ 제전능력이 가장 작음 ✓ 제전 시 많은 시간 소요 ✓ 이동하는 대전물체의 제전에 부적합	✓ 탱크에 저장되어 있는 가연성 물질의 제전

6.4 인체의 정전기 관리

인체는 도전성이므로 대지와 분리되어 있으면 전하를 축적할 수 있으며 이러한 전하는 신발과 바닥재와의 접촉과 분리 등에 의해 발생된다. 그러므로 인화성 혼합물이 존재하고 대전된 인체로부터 점화 위험성이 있는 곳에서는 정전기가 축적되는 것을 방지하는 것이 필요하다.

**** 대전방지 : 부도체의 도전성을 향상시켜 대전을 방지하는 것을 말한다.

***** 공기전리작용 : 방사선이 물질 속을 통과할 때 물질을 구성하고 있는 원자의 궤도전자를 밖으로 끌어내는 현상. 중성이었던 원자는 양이온이 되고, 튀어나온 전자는 자신의 에너지가 다할 때까지 다른 원자나 분자를 전리시킨다.



〈접지저항 기준〉

구 분	접지저항[Ω]
도전성 바닥	10 ⁸ 이하
대전방지용 신발 + 도전성 바닥	10 ⁶ ~ 10 ⁹
대전방지용 신발	10 ⁶ 이하
손목접지기구(접지 팔찌)	10 ⁶ 이하

✓ 대전방지작업복

- 도전성 섬유를 1~5cm 간격으로 짜 넣은 것
- 자기방전식 제전기 원리
- ※ 작은 코로나 방전으로 정전기 완화

7. 공정별 정전기 대전방지대책

공정명	대전방지대책
벨트 [수평벨트, 브이(V)벨트]	✓도전성 물질 사용, 제전기 설치[자기방전식], 직결 구동 방식 검토
드라이크리닝 설비 등	✓분당, 접지
분무 공정 [인화성물질 등]	✓접지
코팅, 함침 공정	✓도전성 바닥, 분당, 접지, 환기, 가습[50%], 밀봉구조, 도전성 재료, 제전기 설치
인쇄공정	✓가습[70%], 접지, 제전기 설치, 불꽃 이용
혼합공정 등	✓접지, 도전성 재료, 질소 등 불활성 가스 주입, 청결 유지, 첨가제 사용
박막추출 및 압출공정	✓제전기 설치
수증기 분사 작업	✓내부의 증기를 끌어내는 방식, 분당, 접지
탱크로리 등 고무타이어 운반체	✓분당, 접지, 저유속 유지, 정치(靜置)시간[30초 이상], 도전성 첨가제 사용
인화성 물질 등 주입공정	✓분당, 접지, 도전성 재료, 접지 밴드 사용

8. 중대재해사례 [반응기 원료 투입 중 화재]

I. 재해발생개요



- 사업장에서 분말상태의 테레프탈산(TPA)을 옥탄올이 들어있는 반응기에 투입하던 중 폭연·화재가 발생하여 화상을 입고 사망한 재해임.

II. 재해발생원인

- 톤백 비닐포장백에 대전된 정전기의 방전에너지(약 0.28~5.62mJ) 또는 테레프탈산 투입 시 발생한 정전기에 의해 옥탄올(최소점화에너지 1mJ)에 화재가 발생한 후 확대된 것으로 추정됨.
- 인화성 액체 취급 설비(반응기)와 톤백 등에 정전기 발생을 억제하거나 제거하기 위한 조치를 실시하지 않음.

III. 재발방지계획

- 근본적으로 정전기가 발생하지 않는 공정으로 개선함.
- 정전기 대전을 완화시킬 수 있는 도전성 섬유 및 필라멘트로 만든 재질을 사용하도록 하고, 작업 시 톤백이 정전기적으로 접지되도록 함.
- 인체 정전기 축적 방지를 위해 도전성 바닥, 정전기 대전방지용 신발 착용, 대전방지기능 도전성 의류와 장갑 착용 등 인체 정전기 축적 방지조치를 해야 함.
- 화재·폭발 위험 분위기가 조성될 수 있는 반응기 내부는 불활성 가스를 주입하여 위험 분위기가 조성되지 않도록 해야 함.

※ 자료출처: 안전보건공단 홈페이지 홈 > 자료마당 > 재해사례 > 국내 재해사례 > 제조업



안전보건교육일지

결
재

교육일시	년 월 일 : ~ : (시간)				
사업 내 안전보건교육 (산안법 시행 규칙 제26조 제1항 관련)	교육과정	교육대상			교육시간
	□ 정기교육	사무직 종사 근로자		매분기 3시간 이상	
		사무직 종사 근로자 외의 근로자	판매업무에 직접 종사하는 근로자	매분기 3시간 이상	
			판매업무에 직접 종사하는 근로자 외의 근로자	매분기 6시간 이상	
	□ 채용 시 교육	일용근로자		1시간 이상	
		일용근로자를 제외한 근로자		8시간 이상	
	□ 작업내용 변경 시 교육	일용근로자		1시간 이상	
		일용근로자를 제외한 근로자		2시간 이상	
	□ 특별교육	별표5 제1호 라목 각 호(제40호는 제외한다)의 어느 하나에 해당하는 작업에 종사하는 일용근로자		2시간 이상	
		별표5 제1호 라목 제40호의 타워크레인 신호작업에 종사하는 일용근로자		8시간 이상	
별표5 제1호 라목 각 호의 어느 하나에 해당하는 작업에 종사하는 일용근로자를 제외한 근로자		- 16시간 이상 (최초 작업에 종사하기 전 4시간 이상 실시하고 12시간은 3개월 이내에서 분할하여 실시 가능) - 단기간 또는 간헐적 작업 2시간 이상			
교육인원	구 분	계	남	여	비 고
	대 상 인 원				【교육 참석자 명단】 참조
	참 석 인 원				
교육제목	정전기 위험성과 대전방지대책				
교육내용	1. 정전기(Static Electricity)란? 2. 정전기로 인한 화재·폭발 위험장소 3. 정전기 발생종류 4. 정전기 방전 5. 정전기 장애 6. 정전기 대전방지대책 7. 공정별 정전기 대전방지대책 8. 중대재해사례 [반응기 원료 투입 중 화재]				
교육장소 및 실시자	교육장소	직 명		성 명	

〈 교육 참석자 명단 〉

연 번	소 속	성 명	서 명	연 번	소 속	성 명	서 명
1				21			
2				22			
3				23			
4				24			
5				25			
6				26			
7				27			
8				28			
9				29			
10				30			
11				31			
12				32			
13				33			
14				34			
15				35			
16				36			
17				37			
18				38			
19				39			
20				40			