

Acrylic Polymer 부유분진의 화재 · 폭발 특성

이수희[†] · 이근원 · 한인수

한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원 화학물질안전보건센터

Fire and Explosive Characteristics in Suspended Dust of Acrylic Polymer

Su-Hee Lee[†] · Keun-Won Lee · In-Soo Han

Chemical Safety & Health Research Center,
Occupational Safety and Health Research Institute, KOSHA

요 약

Acrylic Polymer는 충격보강재 및 가공조제 등의 용도로 다양한 산업현장에서 사용되어지고 있는데, 본 제품 제조회사에서 고객사로 제품 납품 후 원료 투입 중 분진폭발이 발생하여 본 위험성평가를 의뢰하였다. 분진의 위험 특성에 대한 분석은 일반적으로 퇴적분진(Dust Layers)와 부유분진(Dust Clouds)으로 구별되어진다. 본 연구에서는 스위스 Kuhner사에서 제작된 분진폭발장치를 이용하여 아크릴 부유분진의 화재 · 폭발위험성에 대하여 고찰하였다. Acrylic Polymer 부유분진의 폭발 위험성은 최대폭발압력 약 6bar, 최대폭발압력상승속도 67 bar/s, Kst 값은 18m · bar/s로 폭발등급으로 구분하면 St1 [$0 < Kst < 200 \text{ bar} \cdot \text{m/s}$]으로 분류되어 “폭발에 의한 위험성이 낮은 분진”에 속하며, 최소점화에너지(MIE)는 $300 \text{ mJ} < \text{MIE} < 1,000 \text{ mJ}$ 로 Normal Sensitivity로서 정전기와 같은 점화원 제거만으로도 어느 정도 충분히 폭발 등을 방지 할 수 있을 것으로 판단된다.

1. 서 론


Acrylic Polymer는 충격보강재 및 가공조제 등의 원료로 다양한 산업현장(건축현장 등)에서 사용되어지고 있는데, 본 제품 제조회사에서 고객사로 제품 납품 후 원료 투입 중 분진폭발이 발생하여 본 위험성평가를 의뢰하였다. 제조회사의 제조공정은 대략 4개의 공정인 Polymerization (중합공정), Coagulation (응집 공정), Dehydration & Drying (탈수 및 건조 공정), Packing (포장 공정)으로 나뉘어 지는데, 부유분진이 발생할 수 있는 건조 및 포장공정에서의 잠재위험성도 존재 하리라 판단된다. 본 평가에서 Acrylic Polymer 부유분진의 화재 · 폭발 특성을 알기위하여 최대폭발압력(Pmax), 분진폭발지수(Kst), 폭발한하계(LEL), 최소점화에너지(MIE)의 분석을 실시하였으며, 본 분석 결과를 통한 위험성평가로 동종재해 예방 및 안전대책 수립에 활용하고자 한다.

2. 실험

2.1. 실험시료

Acrylic Polymer는 PVC 제품과 특수 레진(Resin)에 혼련하여 사용하는 첨가제로서 특히 충격강도를 높이는 용도로 주로 사용되어지며, Window Profile, 투명 시트, Pipe & Deco. sheet 및 휴대폰 케이스 등 화학산업의 다양한 분야에서 중요한 첨가제로서 광범위하게 사용되어지고 있으며, 시료의 성분은 Acrylic polymer 98.0 ~ 100.0 Weight(%)로 입도분포는 Table 1과 같으며, 형상은 백색 비구형 분진이다.

Table 1. 실험에 사용된 시료의 입도 분포 [단위: μm]

X ₁₀	X ₅₀	X ₉₀	D _{median}	시료 형상
92.47	201.00	357.33	201.00	

※ X_{10,50,90} : 10,50,90 %의 누적분포(부피기준)의 입자 크기

D_{median} : 중간 입자 지름

2.2. 실험장치

스위스의 Kuhner사에서 제작된 MIKE 3 및 Siwek 20-L Apparatus으로 MIKE 3는 부유분진(분진/공기 혼합물)의 점화에 필요한 최소의 에너지를 측정하는 장비로서, 측정범위는 1 mJ ~ 1,000 mJ이며, Siwek 20-L Apparatus는 압력측정범위가 0 ~ 30 bar 로서 분진 분사압력, 점화지연시간은 시험항목에 따라 알맞게 설정할 수 있으며, 분진폭발을 위한 점화원으로는 화학점화기를 사용하였다. 측정할 수 있는 폭발 파라미터로는 Dust Explosibility, Low Explosion Limit(LEL), Maximum Explosion Overpressure (Pmax), Maximum Explosion Constant(Kmax(Kst))등 이 있다.

3. 결과 및 고찰

3.1 Acrylic Polymer 분진의 폭발 압력 특성

[그림1]과 같이 분진 농도에 따른 최대폭발압력(Pmax) 시험 결과 125 g/m³의 농도에서 2.0 bar의 폭발압력을 나타내며 농도가 증가할수록 폭발압력도 증가하다가 500 g/m³의 농도에서 최대폭발압력인 6.0 bar를 나타내었고 이후의 농도에서는 다시 감소하였으며, [그림2]와 같이 분진 농도에 따른 폭발압력상승속도는 125 g/m³에서 12 bar/s를 나타내며 농도가 증가할수록 폭발압력상승속도도 증가하다가 750 g/m³의 농도에서 최대폭발압력상승속도인 67 bar/s를 나타내었으며, 이후의 농도에서는 다시 감소하는 현상을 나타내었다. 최대폭발압력상승속도로부터 Cubic law를 적용한 분진폭발지수 Kst 값은 18m³·bar/s로 계산되어지며, 폭발등급으로 구분하면 St1 [0<Kst<200 bar·m/s]으로

분류되어 “폭발에 의한 위험성이 낮은 분진”에 속하는 것을 알 수 있다.

또한, 분진의 폭발하한계(LEL) 측정을 위한 시험규격(EN 14034-3)에 의하면 분진이 폭발용기 내에서 부유분진의 폭발유무 판정은 chemical igniter(2 kJ)에 의한 폭발압력을 보정한 순수 분진에 의한 폭발압력의 값 (Pm)이 0.2 bar[또는 보정되지 않은 압력(Pex) 0.5 bar 이상] 이상이 되어야 해당 분진의 농도에서 폭발이 일어났다고 판정한다. 또한 실험 치에 의한 폭발하한계의 농도는 3회 이상 연속적으로 폭발이 발생하지 않은 가장 높은 농도를 폭발하한계(LEL)로 나타낸다. 따라서 [그림3]에서 알 수 있듯이 폭발하한농도(LEL)는 750 g/m³ 이며, 이때 분진의 폭발하한농도(LEL)측정은 시험규격에 적합한 2kJ의 chemical igniter를 점화원으로 사용하여 측정하였으며, Pmax(10 kJ의 점화원으로 측정)의 측정결과와 비교하여 볼 때 시료는 점화에너지의 크기가 폭발하한농도에 영향을 준다고 해석할 수 있다. 즉, 점화원의 크기에 따라 LEL의 측정값이 달라짐을 알 수 있으며, Table 2.에 폭발특성을 요약하였다.

3.2 Acrylic Polymer 분진의 점화 특성

[그림4]의 결과에서 보듯이 Acrylic Polymer 부유분진을 점화시키기 위한 최소점화에너지(MIE) 측정결과 300 mJ < MIE < 1,000 mJ로 Normal Sensitivity로 분류되어 지며, 타 시험장비와의 비교 목적으로 사용되는 Es 값은 500 mJ로 계산되어지며, Es 값은 시험 데이터를 바탕으로 한 점화 확률을 이용하여 추정된 최소점화에너지를 의미한다. 또한 일반적인 공정에서 사용되는 분진이 Normal ignition sensitivity일 경우 분진폭발을 방지하기 위하여 실질적인 점화원 제거(Avoiding effective ignition sources)만으로도 어느 정도 충분한 효과가 있다고 서술하고 있으므로, 분진폭발을 일으키기 위해 필요한 점화원으로 작용할 수 있는 것은 대표적으로 정전기 방전에너지가 있으며, 일반적으로 정전기 방전의 종류에는 corona discharge(0.025mJ 이하), brush discharge(3mJ 이하), conical pile discharge(1 J 이하), spark discharge(1J 이하), propagating brush discharge (10J 이하) 등이 있으며, Table 2.에 점화특성을 요약하였다.

표 2. 시료의 폭발특성 및 점화 특성 요약표

시험항목	측정값	비 고
최대폭발압력(Pmax)	6.0 bar	chemical igniter(10 kJ) 사용
폭발하한농도(LEL)	750 g/m ³	chemical igniter(2 kJ) 사용
분진폭발지수인(Kst)	18m · bar/s	St 1 [0<Kst<200 bar·m/s]
최소점화에너지(MIE)	300 mJ < MIE < 1,000 mJ	Normal Sensitivity

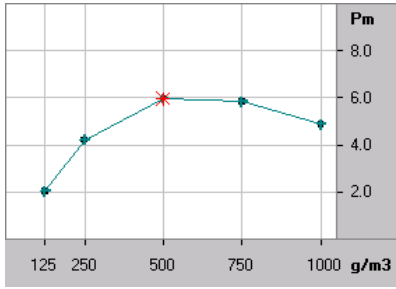


그림 1. 분진농도에 따른 최대폭발압력

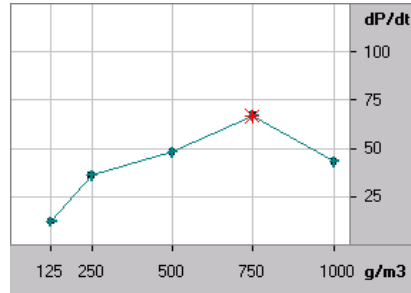


그림 2. 분진농도에 따른 최대폭발압력상승 속도

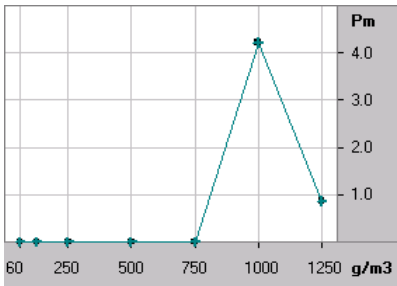


그림 3. 폭발하한계(LEL) 측정결과

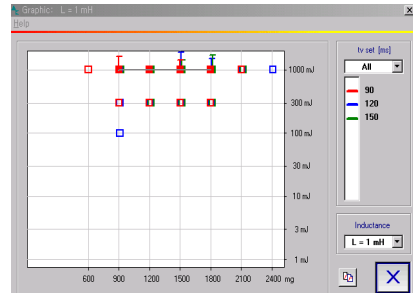


그림 4. 최소점화에너지 측정결과
(□ : 비폭발, ■ : 폭발)

4. 결론

Acrylic Polymer 부유분진의 위험성 시험결과 최대폭발압력은 약 6bar이며, 최대폭발 압력상승속도는 67 bar/s, Kst 값은 18m·bar/s로 폭발등급으로 구분하면 St1 [0<Kst<200 bar·m/s]으로 분류되어 “폭발에 의한 위험성이 낮은 분진”에 속하며, 최소 점화에너지(MIE)는 300 mJ < MIE < 1,000 mJ로 Normal Sensitivity로서 정전기와 같은 점화원 제거만으로도 어느 정도 충분히 폭발 등을 방지 할 수 있을 것으로 판단된다. 다만, 분진폭발을 방지하기 위하여 부유분진이 발생할 수 있는 공정 작업 중 비산면지를 최소화 해야 하며, 덕트등은 분진의 퇴적이 발생하지 않도록 굴곡부 등을 최소화하며 퇴적 상태를 확인 할 수 있는 점검구의 설치 및 덕트의 재질은 도전성 재질을 사용하여 정전기 발생 방지를 위한 접지를 실시하여야 한다. 또한 덕트 연결부에 비도전성 재질의 가스켓을 사용시 분당에 의한 통전성 확보 및 점화원의 관리를 통하여 퇴적분진 및 부유분진으로 야기될 수 있는 화재 또는 폭발 예방이 가능 할 것으로 판단된다. 또한, 시료의 물리적 특성 시험 결과에서 알 수 있듯이 부유분진의 대한 민감할 정도의 위험성은 없는 것으로 나타났으나 충분한 점화에너지가 존재 시 약 6 bar의 폭발압력이 형성됨에 따라 건조설비 및 부속장치의 재질 선정 시 폭발압력에 견딜 수 있도록 설계 및 제작을 하거나 적절한 크기의 폭발압력방산구 등을 설치함으로써 폭발 발생 시 폭발압력이 해당설비 외부로 방출될 수 있도록 하여 폭발 시 피해를 최소화 하는 것이 중요하다.