

테레프탈산의 분진 폭발특성에 관한 연구

성상현, 목연수*, 이동훈*, 최재욱*, 최일곤**

부경대학교 대학원, 부경대학교 산업시스템·안전공학부*, 동광화학(주)**

1. 서론

산업이 고도화되고 다양화됨으로써 그로 인한 대형사고의 발생위험은 계속 커져가고 있으며, 아울러 분진에 의한 재해의 위험이 커지고 있다. 최근에는 플라스틱 공업, 유기합성 공업, 분말금속 공업, 식료품 공업, 사료 공업 및 제약 산업 등에서 기술의 진보에 따라 원료·제품을 취급하는 공정이 많아졌으며, 이와 같은 분체 취급분야의 확대, 취급량의 증대, 공정의 연속화, 생산속도의 가속화의 경향은 분진폭발의 잠재 위험성을 증대시키는 결과를 초래했다.

본 연구에서는 국내 S석유화학에서 생산되는 테레프탈산(TA)을 시료로 Hartmann식 분진폭발장치를 개량한 취입식 분진폭발장치를 사용하였으며, 착화에너지 공급장치는 용량방전식 착화장치를 사용하였다.

실험을 통해 테레프탈산분진의 최소착화에너지를 구하고, 분진농도, 입도분포 및 전극간 거리가 착화에너지에 미치는 영향을 조사하고 분진의 폭발하한농도를 구하고, 분진폭발의 특성을 파악하여, 분진의 화재·폭발 예방대책을 수립하는데 기초자료를 제공함으로써 재해예방에 기여하고자 한다.

2. 실험장치 및 시험방법

2-1. 실험장치

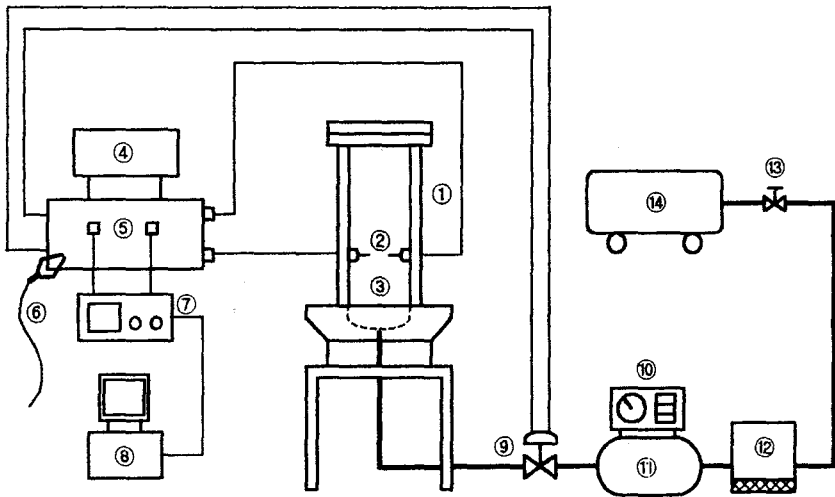
본 실험을 하기에 앞서 실험장치가 설치된 실험실의 환경은 항온항습기를 사용하여 실내온도 $20 \pm 2^\circ\text{C}$, 상대습도 $50 \pm 5\%$ 를 항상 유지하였으며, 실험장치는 Hartmann식 분진폭발장치를 개량한 취입식 분진폭발장치로서 실험장치의 전체구성도는 Fig.1과 같으며, 폭발통부, 압축공기공급부, 전기에너지공급부, 폭발에너지 측정·저장부로 구성되어 있다.

폭발통부는 폭발통, 폭발통 취부대로 구성되며, 폭발통의 부피는 1.3ℓ이며, 투명한 파이렉스제의 내열유리로서 폭발통 취부대의 상부에 고정되고, 상부는 종이 등을 사용하여 두께를 덮을 수 있도록 되어 있다. 폭발통에는 시료컵 상부 12cm 지점에 착화용 방전전극 2개를 수평으로 마주보는 형태로 장착하였으며, 방전전극은 직경 3mm의 텅스텐 합금(선단은 원뿔기둥형 침상)으로, 전극간 간격은 마이크로미터로 조절할 수 있게 되어 있다. 폭발통 취부대의 상부에는 분체 시료를 정지하는 부분인 시료컵이 설치되어 있고, 시료컵 중앙부에는 압축공기

분출구와 압축공기분산판이 있어 폭발통 내부에 압축공기를 주입할 수 있는 구조로 되어 있다.

압축공기공급부는 공기압축기, 공기건조기, 압축공기저장탱크, 압력계, 자동 압력조절장치로 구성되어 있다. 압축공기는 공기건조기(Model XD-7)를 거치면서 수분이 제거된 후 압축공기저장탱크에 저장되고, 압력오차 $\pm 0.2\%$ 이내의 자동 압력조절장치에 의해 설정압력으로 항상 유지되도록 되어 있다.

전기에너지공급부는 용량방전형 콘덴서, 가스봉입형 고전압스위치, 방전제한 저항, 무유도저항, 타이머 등으로 구성되어 있으며, 폭발에너지 측정·저장부는 오실로스코프(TDS380), 고전압 프로브(Tektronix P6015A \times 2EA) 및 컴퓨터로 구성되어 있다. 오실로스코프에는 폭발시 방전에너지를 측정할 수 있는 방전전류와 방전전극간의 전압이 나타나며, 전기에너지공급부와 연결된 고전압 프로브에 의해 방전전극에서의 방전전압을 측정할 수 있고, 방전전류는 상기 전류 검출용 전압에 의해 각각 검출할 수 있게 되어 있다.



- | | |
|--------------------------------|---------------------------|
| ① explosion tube | ⑧ computer |
| ② discharge electrode | ⑨ solenoid valve |
| ③ sample cup | ⑩ auto pressure regulator |
| ④ timer | ⑪ air reservoir tank |
| ⑤ capacitive discharge circuit | ⑫ air dryer |
| ⑥ grounding | ⑬ ball valve |
| ⑦ oscilloscope | ⑭ air compressor |

Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus.

2-2. 실험방법

테레프탈산을 볼밀(Model YJB-10)로 분쇄를 시켜 분체분리기를 통해 -100/+170, -200/+270 및 -325 mesh로 입경을 분리하여, 데시게이터에서 5일간 건조시킨 후 실험에 사용하였으며, 아래의 절차에 따라 실험을 실시하였다.

- (1) 실험조건에 알맞는 양의 시료를 전자저울로 정확히 평량한 후 시료컵 위의 압축공기분출구를 중심으로 균일하게 분포시킨다.
- (2) 폭발통을 폭발통 취부대에 견고히 체결시킨 후, 폭발통 상부는 통기성이 좋은 종이를 사용하여 밀폐시킨다.
- (3) 마이크로미터로 방전전극 간격을 조절하여 고정한다.
- (4) 전기에너지공급부의 전원을 방전전극에 연결한 후 설정된 전압, 충전시간, 압축공기 방출시간, 방전개시시간을 확인한다.
- (5) 충전-방전스위치를 누른다.
- (6) 분진운의 균일한 분포, 방전에 의한 방전불꽃의 유무, 그리고 화염전파 및 폭발을 육안으로 확인한다.
- (7) 오실로스코프를 통해서 방전전극간의 전압과 방전전류를 확인한다.
- (8) 컴퓨터(program : wavestar)로 오실로스코프의 파형과 데이터를 읽어 들여 저장시킨다.
- (9) 착화에너지를 계산한다.

이상의 과정을 거쳐 착화에너지를 측정하였으며, 이 착화에너지는 방전전극과 접지전극간에서 소비된 방전에너지로서, Fig.2의 오실로스코프에 나타난 방전전류와 방전전극간의 전압을 바탕으로 계산에 의해 산출하였다.

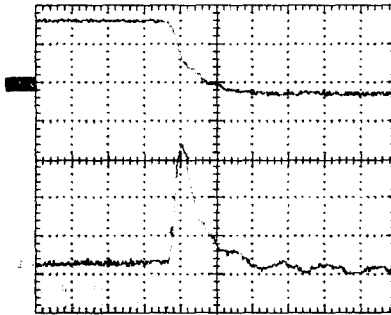


Fig.2 The plotted Waves from the Oscilloscope.

폭발의 유무를 판단하기 위해 폭발판정기준을 정하였는데 그 내용은 다음과 같다.

- ① 폭발통 상부의 종이덮개가 폭발에 의해 파열되는 때
 - ② 화염전파가 방전전극 상부 10cm 정도로 발생할 때
- 위의 ①항이거나 ②항일 때만 폭발로 판정하고, 파열되지 않거나 불꽃의 크기가 10cm 이하이면 불폭으로 판정하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 농도의 영향

실험에 사용한 테레프탈산 시료의 입도는 -100/+170 mesh, -200/+270 mesh, -325 mesh로 하였다. Fig.3은 전극간 거리를 5mm로 하여 각 분진의 입도에 있어서 분진의 농도와 착화에너지와의 관계를 나타냈었다.

Fig.3에서 알 수 있는 바와 같이 분진의 입도와 농도가 착화에너지에 크게 영향을 미치고 있으며, 분진의 입도가 작아질수록 착화에너지는 감소하는 경향을 나타낸다. 분진폭발은 입자표면에서 반응하기 때문에 표면적이 입자체적에 비해 커지면 열의 발생속도가 방산속도를 상회하고, 표면에너지도 크게되기 때문이다.

분진운의 농도의 영향을 보면 일반적으로 농도가 300g/m³~400g/m³보다 작은 경우에는 농도가 작을수록 착화에너지는 증가하는 경향을 나타내다가 입도의 크기에 따라 어느 농도 이하에서는 급격한 증가를 나타내고 그 이하의 농도에서는 에너지를 더 주어도 폭발하지 않는 것을 알 수 있다.

100~170mesh의 입도에서의 최소착화에너지는 53mJ, 분진의 폭발하한농도는 200g/m³이었으며, 200~270mesh의 입도에서의 최소착화에너지는 24mJ, 폭발하한 농도는 75g/m³이었고, 325mesh이상에서 최소착화에너지는 19mJ, 폭발하한농도는 50g/m³을 얻었다.

본 연구에서 행한 입도와 농도의 범위에서 테레프탈산의 폭발하한농도와 착화 에너지의 최소치는 325mesh 이상의 입도에서 50g/m³과 19mJ로 문헌치와 잘 일치하고 있다.

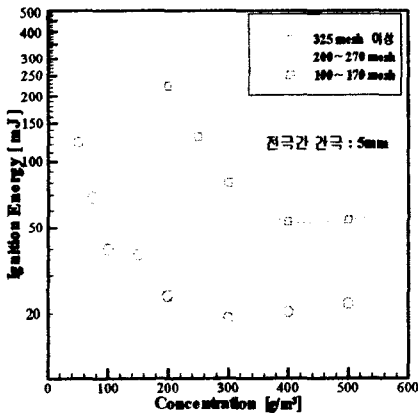


Fig.3 Relation between Ignition Energy and dust concentration for dust explosion.

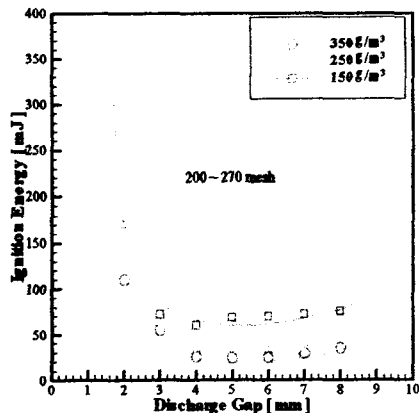


Fig.4 Relation between Ignition Energy and discharge gap for dust explosion.

3-2. 전극간 거리의 영향

Fig. 4는 테레프탈산 분진의 입도가 -200/+270 mesh인 시료를 사용하여, 분진운의 농도를 150g/m³, 250g/m³ 및 350g/m³으로 변화시켰을 때의 착화에너지와 전극간 거리의 관계를 나타냈었다.

Fig. 4에서 알 수 있는 바와 같이 각 분진운 농도에 있어서 전극간극 4mm~6mm에서 착화에너지가 거의 비슷함을 알 수 있으며, 이 보다 전극간극이 좁아질수록 착화에너지가 상승하고 3mm 이하로 되면 착화에너지는 급격하게 증가하여 2mm에서는 측정할 수 있는 최대치가 나타나고, 2mm 이하에서는 아무리 큰 에너지를 가하여도 착화가 일어나지 않았다. 또한 전극간극이 7mm 이상으로 됨에 따라 착화에너지가 증가하였으며 간극이 넓어질수록 더욱 증가하는 경향을 보였다.

이와 같은 현상은 가스착화의 경우와 거의 동일한 경향을 나타내고 있는데, 전극간극이 아주 좁아지면 전극이 초기화염전파에 간섭을 일으키게 되어 착화에너지가 증가하고, 전극간극이 너무 넓으면 초기화염의 면적이 증대하고 공기의 절연파괴 전계강도 이상으로 되어 착화에너지가 크게 증가하다가 결국 공기의 절연파괴가 일어나지 않게 되기 때문이다.

전극간 거리가 4mm~6mm에서 착화에너지는 거의 같은 값을 나타내고, 이때가 최소치가 되는데, 이 최소치를 그 농도에 있어서의 최소착화에너지(Minimum Ignition Energy)라 하고, 각 분진운 농도 150g/m³, 250g/m³, 350g/m³일 때 각각의 최소착화에너지는 60mJ, 32mJ 및 24mJ로 측정되었다.

5. 결 론

산업의 고도화와 함께 사용량이 급격히 증가되고 그 용도가 다양화되고 있는 테레프탈산의 분진폭발실험을 통하여 폭발특성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 분진의 입도 및 농도는 최소착화에너지에 큰 영향을 미치며 100~170mesh의 최소착화에너지는 53mJ, 폭발하한농도는 200g/m³, 200~270mesh의 최소착화에너지는 24mJ, 폭발하한농도는 75g/m³, 325mesh 이상의 최소착화에너지는 19mJ, 폭발하한농도는 50g/m³이었으므로, 본 연구의 범위에서 테레프탈산의 폭발하한농도는 50g/m³, 최소착화에너지는 19mJ로 얻어졌다.
- 2) 각 폭발하한계 이상의 농도에서는 농도가 증가할수록 착화에너지가 감소하다가 300~400g/m³에서 최소치를 나타내어 폭발이 용이하게 났고, 그 이상의 농도로 되면 착화에너지는 증가하였다.
- 3) 방전전극 간극 4~5mm에서 착화에너지의 최소치를 나타내었고, 6mm 이상에서는 전극간극이 넓을수록 착화에너지는 증가하였으며, 2mm 미만에서는 충분한 에너지를 주어도 폭발하지 않았다.
- 4) 실험에 사용한 테레프탈산은 평균입자경이 감소할수록 착화에너지가 직선적으로 감소하는 경향을 나타내었다.

참고문헌

- 1) K.Kiyama and H.Sudo, "The Effect of the Moisture Content on Dust Explosion", ANZEN-KOGAKU, Vol.12 No.3, pp.169~173(1973).
- 2) 荷福正治, 石川忠男, 塙 恒雄, 佐々木 敬 轉, 粉じん雲の着火に関する研究, 安全工学, Vol.26 No.3. pp. 148~152(1987).
- 3) 陸演洙외 3인 화학안전공학, 東和技術, pp.47~48, 253~287, 1998.
- 4) Wolfgang Bartknecht, Dust Explosions, Springer Verlag Berlin Heidelberg, pp.51~92, 1989.
- 5) B.Lewis and G.von Elbe, Combustion, Flames and Explosion of Gases, 2nd ed., Academic Press, 1961.
- 6) W.E.Baker, P.A.Cox, P.S.Westine, J.J.Kulesy, R.A.Strehlow, Explosion Hazards and Evaluation, Elsevier, p.77, 1983.
- 7) 榎本兵治, 粉じん爆発, pp.2~40, pp.134~151. オ-ム社(1991).