

Hydroxypropyl Methyl Cellulose의 분진 폭발특성에 관한 연구

임우섭 · 박승호 · 목연수 · 이동훈 · 최재욱 · 이무진* 조태제**

부경대학교 안전공학과 · *삼성정밀화학(주) · **동명대학 산업안전과

1. 서론

가연성분진을 생산, 가공, 수송하는 과정에서 분진폭발의 위험성은 항상 존재하고 있으며, 일단 분진폭발이 발생하면 인명과 재산상의 피해가 큰 대형사고의 경향을 띄게 되므로, 무엇보다 중요한 과제는 폭발예방대책을 강구하는 것이라 할 수 있다.

분진폭발을 예방하기 위해서는 폭발하한계, 최대폭발압력, 폭발압력상승속도, 최소착화 에너지, 최저발화온도 등이 있으며, 이들 특성치는 실험을 통하여 파악하여야 한다.¹⁾

분진폭발에 관한 연구는 Faraday²⁾의 선구적 연구가 있는 이후, Hartmann 등³⁾과 Jacobson 등⁴⁾을 비롯한 많은 연구자들에 의해 수행되어져 왔으며, 이를 바탕으로 ASTM⁵⁾, IEC⁶⁾, ISO⁷⁾ 등에서 폭발특성치 측정에 대한 국제적 규격을 제정하여 권고하고 있다.

국내에서는 오규형 등⁸⁾이 텔레프탈산의 분진폭발특성에 관한 연구를 하였고, 목연수 등⁹⁾이 소나무 분진의 폭발특성에 관한 연구를 행하였으나, 새로 개발되어 생산되고 있는 제품에 대한 분진운의 폭발특성자료가 거의 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 S기업이 자체 개발하여 도료, 식용품, 의약품, 제지, 화장품, 세라믹 소재 등에 사용되고 있으며 수요가 날로 증가하고 있는 Hydroxy -propyl methyl cellulose(이하 HPMC라 한다)를 시료로 폭발특성치를 조사하여 산업현장에서 폭발의 위험성이 항상 상존하고 있는 분진의 폭발예방대책을 수립하는 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 실험장치 및 시험방법

2-1. 실험장치

본 실험에 사용한 시험장치는 ASTM E 789-81¹⁰⁾에 의거한 Hartmann식 폭발장치를

개량한 취입식 분진폭발 장치이며, 그 구성은 Fig. 1과 같다.

장치의 전체구성은 폭발통부, 압축공기공급부, 전기에너지공급부, 폭발에너지 측정 및 저장부로 구성되어 있으며, 폭발통부의 폭발통은 부피가 1.3 l 이고, 투명한 파이렉스제의 내열유리로서 내부를 관찰할 수 있도록 되어 있다.

상부는 종이를 사용하여 뚜껑을 덮을 수 있도록 되어 있고, 폭발압력의 측정에 사용되는 폭발통은 스테인레스로 제작하여 상부에 압력을 측정할 수 있는 압력변환기 (Kyowa제 PE-30KF)를 장착하였으며, 이를 오실로스코프에서 기록되게 하였다.

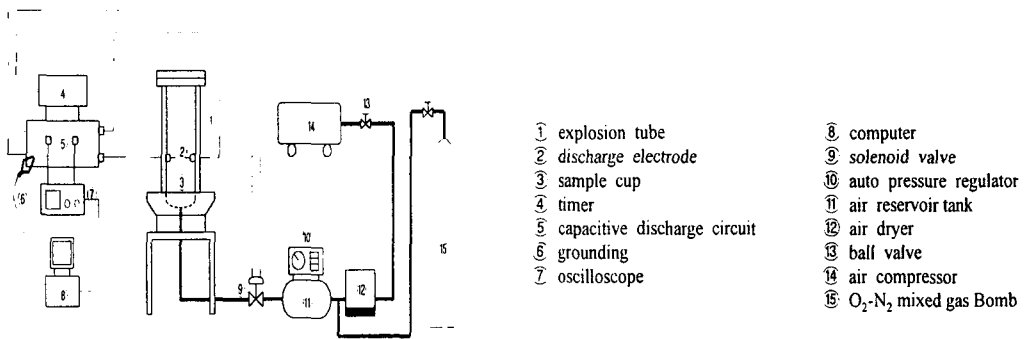


Fig.1. Schematic diagram of experimental apparatus

오실로스코프에는 폭발시 방전에너지를 측정할 수 있는 방전전류와 방전전극간의 전압이 나타나며, 전기에너지공급부와 연결된 고전압 프로브에 의해 방전전극에서 방전시 전압을 측정하였고, 방전전류는 상기 전류 검출용 전압에 의해 각각 검출하였다. 방전전류와 방전전극간의 전압은 각각 오실로스코프에 파형으로 기록되며, 이 파형을 컴퓨터로 읽어 들여 수치화 한 다음 계산에 의해 착화에너지를 구하였다.

2-2. 실험방법

분진폭발 현상은 수분의 영향을 많이 받으므로 실험의 재현성을 좋게 하기 위해 온도 $20 \pm 2^\circ\text{C}$, 상대습도 $50 \pm 5\%$ 의 항온항습 조건으로 실험을 행하였으며 아래의 절차에 따라 실험을 행하였다.

지정된 량의 시료를 전자저울로 정확히 평량하여 시료컵 주위에 균일하게 분포시킨 다음, 폭발통을 체결시키고, 마이크로미터로 방전전극 간격을 조절한후, 전기에너지공급부의 전원을 방전전극에 연결하여, 충전-방전스위치를 누른다.

폭발의 유무를 판단하기 위한 폭발판정기준은 폭발통 상부의 종이덮개가 폭발에 의해 파열될 때와 화염전파가 방전전극 상부 10cm이상으로 발생할 때로 하였으며, 상부의 종이가 파열되지 않거나 불꽃이 발생하지 않으면 불폭발로 판정하였다. 실험의 정밀도를 향상시킬 목적으로 동일한 농도에서 인가전압(kV)을 낮춰가며, 매 전압마다 10회의 실험을 하였다. 10회의 실험 중 1회라도 폭발이 발생하면 분진폭발로 판정하고 최저의 인가전압을 구할 때까지 실험을 하였으며, 10회의 실험에서 1회도 폭발되지 않았을 때의 경계농도를 구하였다.

3. 결과 및 고찰

실험에 사용한 HPMC 시료의 폭발하한계를 추정하기 위하여 사용된 분진의 입자 분포는 120-140 mesh, 170-230 mesh, 325 mesh 통과분으로 하였다.

Fig. 2는 분진의 입도에 있어서 분진의 농도와 착화에너지와의 관계를 나타내었으며, Fig. 3에서는 HPMC의 폭발한계산소농도는 12%임을 알 수 있다. Fig. 2에서 알 수 있는 바와 같이 분진의 입도와 농도가 착화에너지에 크게 영향을 미치고 있으며, 분진의 입도가 작아질수록 착화에너지는 감소하는 경향을 나타내었다. 본실험의 범위에서 HPMC의 폭발하한계는 180g/m³이다.

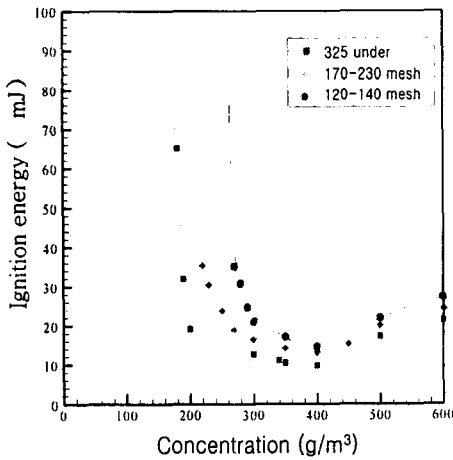


Fig. 2. Relation between the ignition energy and the dust concentration for dust explosion.

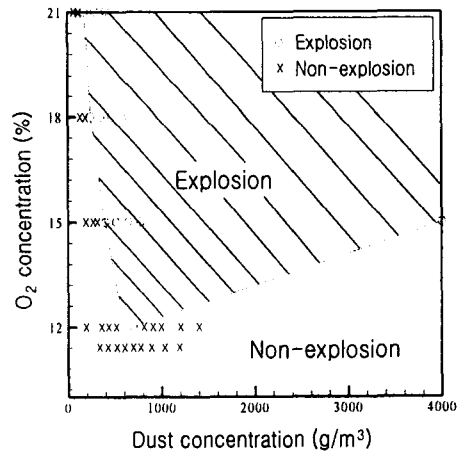


Fig. 3. Influence of the oxygen concentration upon the explosive limits of HPMC dust.

분진의 농도에 대한 최대폭발압력을 측정하여 Fig. 4에 나타내었으며, 폭발압력은 500 g/m³일 때 8.1kg/cm²·abs로서 최대의 폭발압력을 나타내었다. 분진의 농도에 대한 폭발압력 상승속도를 구하여 Fig. 5에 나타내었으며, 640g/m³에서 78.45bar/sec의 증가비로 나타났다.

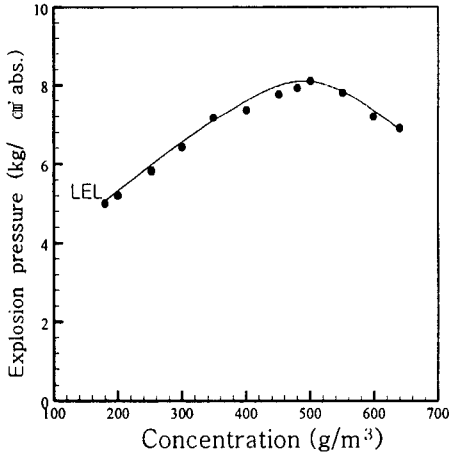


Fig. 4. Explosion pressure with the change of concentration of HPMC.

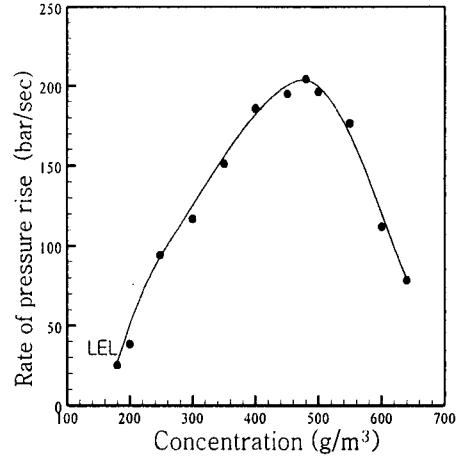


Fig. 5. Rate of pressure rise with the change of concentration of HPMC .

4. 결론

여러 분야에 걸쳐 용도가 증가하고 있는 HPMC를 Hartmann식 폭발시험장치를 사용하여 분진폭발 특성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) HPMC의 폭발하한계는 180g/m³이었으며, 분진의 입자크기와 농도에 많은 영향을 받는 것으로 나타났다.
- 2) 325 mesh 통과분의 입도에 대한 폭발한계 산소농도는 12%로 측정되었다.
- 3) 최대폭발압력을 측정한 결과 180g/m³에서 5kg/cm²·abs의 폭발압력을 나타내었고, 농도가 증가할수록 폭발압력이 서서히 증가하다가 500g/m³일 때 8.1kg/cm²·abs로서 최대의 폭발압력을 나타내었다.
- 4) 폭발압력상승속도는 325 mesh 통과분의 시료를 사용하였을때, 480g/m³에서 203.98bar/sec를 나타내었다.

참고문헌

- 1) Norbert Jaeger, Richard Siwek, "Prevent Explosion of Combustible Dusts",

- Chem. Eng. Prog, pp.25~37, June, 1999.
- 2) M. Faraday and C. Lyell. Philosophical Magazine, 26-16, 1845.
 - 3) J.Nagy Hartmann, and H.R. Brown, "Inflammability and explosibility of metal powders" U. S. Bur of Mines.R.I. No. 3722, 1943.
 - 4) M. Jacobson, J.Nagy and A.R. cooper: "Explosibility of dust used in the plastics Industry" "U.S. Bur of Mines,R. I. No. 5971, 1962.
 - 5) American Society for Testing and Materials, "Standard Test Method for Minimum Explosible Combustible Dusts" ASTM E 1515-98, ASTM, West Conshohocken, PA, 1998.
 - 6) International Electrotechnical Commission, "Electrical Apparatus for Use in the Presence of Ignitable Dust: Part2 ; Test Method, Section 3, Method for Determining the Minimum Ignition Energy of Dust/Air Mixtures, IEC, Geneva, 1994.
 - 7) International Standard Organization, "Explosion protection systems-Part 1 : Determination of explosion indices of combustible dusts in air", ISO 6184/1, 1985.
 - 8) 오규형, 문정기, 김한석, "Terephthalic Acid의 폭발특성에 관한 실험적 연구" , 한국 산업안전학회지, 제5권, 제1호, pp.41-48 1990.
 - 9) 목연수, 최재욱, 조일건, 최일건, 이동훈, 하동명, "소나무분진의 최소착화에너지와 폭발한계 측정에 관한 연구" , 한국가스학회지, 제2권, 제2호, pp.55-56, 1998.
 - 10) American Society for Testing and Materials, "Standard Test Method for Dust Explosions in a Closed Vessel", ASTM E789-81, ASTM, West Conshohocken, PA, 1991.