

사료분진의 폭발특성에 관한 연구

A study of dust explosion about stock feed

홍현경*·사민형*·이홍주*·김윤선*·우인성*

Abstract

본 연구에서는 사료분진의 폭발 특성을 연구하여 분진에 의한 폭발사고 위험을 감소시키고 방지대책에 필요한 기초자료를 제공하기 위해 Hartman1)식 분진폭발장치를 사용하여 다양한 사료를 실험하였다. 실험결과로 사료농도가 폭발확률에 미치는 영향은 농도가 높을수록, 사료분진의 입경이 작을수록 폭발확률이 커지고 분진농도가 증가할수록 폭발압력이 증가하였으나 일정농도를 넘어서면 오히려 폭발압력이 감소하는 경향을 보였으며 불활성물질을 첨가할 경우에는 10%이상 첨가할 경우에 폭발억제 효과를 보였다.

1. 서론

현대 사회에서 제조업 사업장들은 규모가 점차 커짐에 따라 먼지와 분말 등을 다량으로 취급하는 사업장들이 등장하게 되었고 분체의 취급, 사용공정이 증가함에 따라 분진 폭발의 빈도도 증가하고 있다.

분진(dust)이란 75 μ m이하의 고체입자로서 공기 중에 떠있는 분체로서 이러한 분진은 폭발성이 있다. 특히, 부유 분진의 경우에는 외부의 착화원에 의해 분진폭발의 위험성을 내포하고 있으며 쌀겨와 같은 농산물 관계분진이 전체 분진폭발 빈도중 35-56%를 차지할 정도로 가장 많고 그 피해도 상당히 큰 것으로 알려져 있다. 이러한 분진에 의한 폭발과 화재를 방지하기 위해서는 분진폭발에 대한 잠재적 위험성과 특성을 파악하는 것이 무엇보다 중요하다고 할 수 있다. 본 연구에서는 Hartman식 분진폭발장치를 사용하여 다양한 사료별 특성에 따른 폭발변수들을 정리하여 대형분진 폭발사고의 위험을 효과적으로 방지할 수 있는 대책을 마련하고자 하였다.

* 인천대학교 안전공학과

2. 실험장치 및 방법

본 실험에 사용한 실험장치는 Hartman식 분진폭발장치로 폭발통부, 분산부, 공기공급부 및 전기에너지공급부로서 실험장치의 전체 구성도는 Fig.1과 같다.

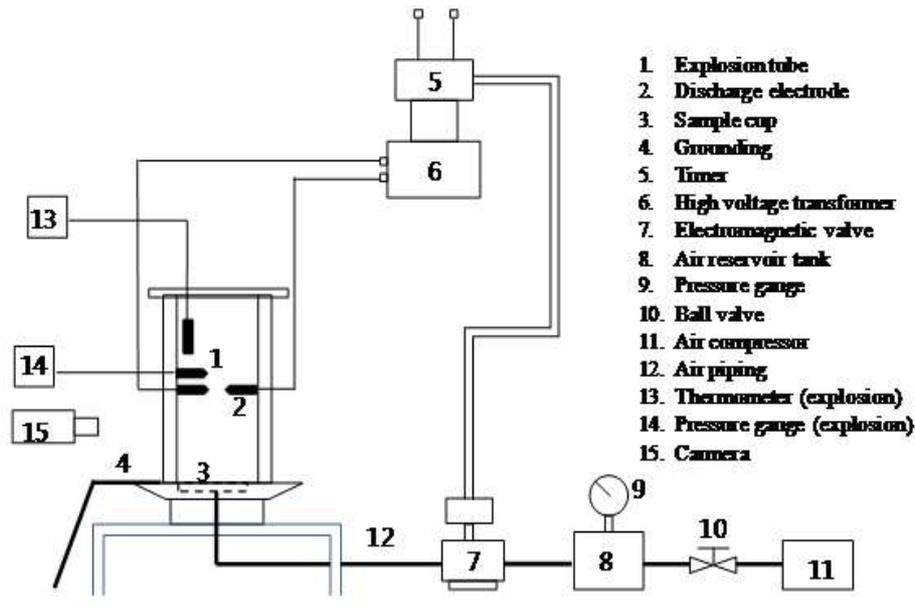


Fig.1 Schematic Diagram of experimental apparatus

본 실험에서는 사료분진 폭발 실험을 위해 소맥분(4mesh, 120mesh), 옥수수(120mesh, 200mesh) 사료를 사용하였다.

불활성 물질로는 CaO(Shinyo Pure chemicals, 98%)와 CaCO₃(Showa chemiclac, 98%)를 사용하여 불활성 물질 첨가에 따른 폭발 특성을 연구하였다.

실험장치 각부를 점검하여 정상임을 확인한 후 아래의 절차에 따라 실시한다. 실험 대상 시료를 전자저울로 칭량한 후 압축공기 분출구를 중심으로 분산접시의 상부에 균일하게 분포시킨다. 폭발통 상부의 덮개는 통기성이 좋은 종이를 사용하였으며, 공기는 공기압축기를 동작시켜 소요압력만큼 압력조절밸브를 이용하여 공기보조탱크에 압력을 조절하여 저장한다. 방전전극은 마이크로미터로서 소정의 간격을 조절하여 고정한 후 전기에너지공급부의 전원을 켜고 방전용 전원을 설정전압까지 충전시킨 후 점화스위치를 누른다. 본 실험에서는 점화스위치를 누른 후 1.3sec 동안 공기가 공급되어 분진을 비산시킨 후 전기불꽃이 발생하도록 하였다. 이때 폭발통 상부의 종이덮개가 폭발압력에 의해 파열되는 때를 폭발로 판정하고, 파열되지 않으면 불폭으로 판정한다. 폭발로 판정되는 경우에는 시료량을 변화시켜 가며 반복실험을 행하고 최소폭발 시료량을 구하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 농도 영향

3.1.1 소맥분

입도크기	120mesh 소맥분 (2회 실험)						18mesh 소맥분 (5회 실험)			
질량 (g)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	1.3	1.4	1.5	1.6
폭발여부	불폭발	불폭발	폭발	폭발	폭발	폭발	불폭발	불폭발	폭발	폭발

분진폭발통의 내부 부피 : $1.17 \times 10^{-3} \text{ m}^3$

120mesh소맥분은 0.2g이하일 때 분진 불폭발이 되었고, 0.3g이상일 때 분진폭발이 일어났다. 따라서 0.2g과 0.3g사이에서의 분진폭발확률은 다음 식을 이용하여 계산한다.

$$\Phi(x) = 300 \left(\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \right)^2 - 200 \left(\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \right)^3$$

0.2g 및 0.3g의 농도를 구하여 각각을 X1, X2로 놓으면 다음과 같다.

$$X_1 = 0.2 / (1.17 \times 10^{-3}) \text{ g/m}^3 = 170.9 \text{ g/m}^3$$

$$X_2 = 0.3 / (1.17 \times 10^{-3}) \text{ g/m}^3 = 256.4 \text{ g/m}^3 \text{ 이고}$$

18mesh 소맥분은 1.4g이하일 경우 분진 불폭발이 되었고, 1.5g이상일 경우 분진폭발이 일어났다. 이때 각각의 농도를 구하면

$$X_1 = 1.4 / (1.17 \times 10^{-3}) \text{ g/m}^3 = 1196.6 \text{ g/m}^3$$

$$X_2 = 1.5 / (1.17 \times 10^{-3}) \text{ g/m}^3 = 1282.1 \text{ g/m}^3 \text{ 가 된다.}$$

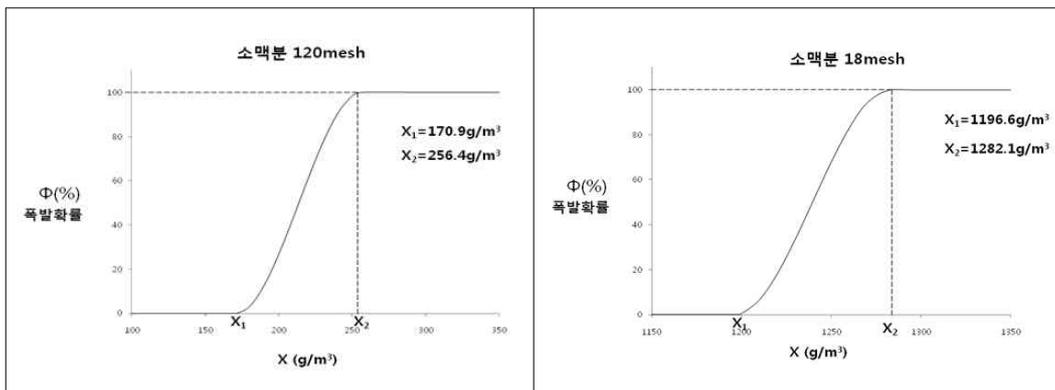


Fig.2 Concentration of dust vs probability of explosion

3.1.2 옥수수분

입도크기	120mesh 옥수수분 (3 회 실험)				200mesh 옥수수분 (3회 실험)			
질량 (g)	1.5	1.6	1.7	1.9	0.4	0.5	0.6	0.7
폭발여부	불폭	불폭	폭발	폭발	불폭	불폭	폭발	폭발

120mesh 옥수수분의 농도는
 $X_1 = 1.6 / (1.17 \times 10^{-3}) \text{ g/m}^3 = 1367.5 \text{ g/m}^3$
 $X_2 = 1.7 / (1.17 \times 10^{-3}) \text{ g/m}^3 = 1453.0 \text{ g/m}^3$ 이고
 200mesh 옥수수분의 농도는
 $X_1 = 0.5 / (1.17 \times 10^{-3}) \text{ g/m}^3 = 427.4 \text{ g/m}^3$
 $X_2 = 0.6 / (1.17 \times 10^{-3}) \text{ g/m}^3 = 512.8 \text{ g/m}^3$ 이다.

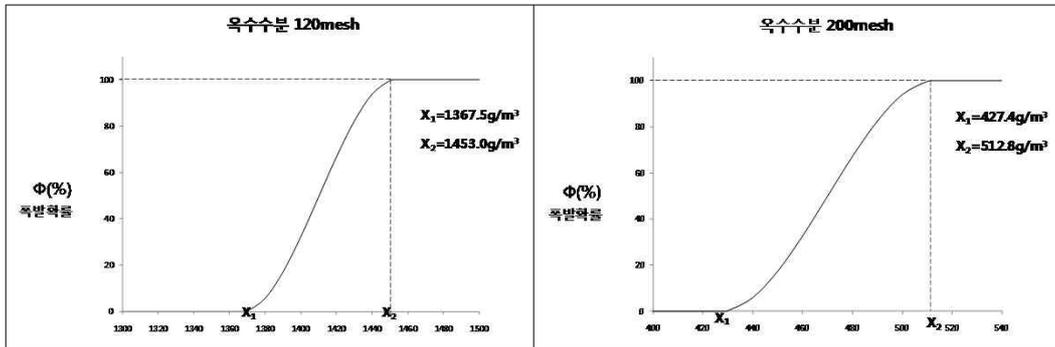


Fig.3 Concentration of dust vs probability of explosion

3.2 불활성물질 첨가 영향

3.2.1 주시료 3g

첨가물의양 첨가물	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60
CaCO ₃	폭발	폭발	폭발	폭발	폭발	불폭						
CaO	폭발	불폭	불폭	불폭	불폭							

3.2.2 부시료 3g

첨가물의양 첨가물	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60
CaCO ₃	폭발	폭발	폭발	폭발	폭발	폭발	불폭	불폭	불폭	불폭	불폭	불폭
CaO	폭발	불폭	불폭	불폭								

4. 결 론

(1) 사료농도의 영향은 농도가 높을수록, 사료분진의 입경이 작을 수록 폭발확률이 커진다.

(2) 수분함유량이 클수록 폭발최저농도가 초기에는 급격하게 증가하다가 일정 수분함유량을 넘어서면 폭발최저농도 증가율이 완만해지는 경향을 보였다. 이것으로 보아 초기의 수분의 증가가 분진의 착화에너지를 효과적으로 감소시켜 폭발최저농도를 증가시킨 것으로 추정된다.

(3) 분진농도가 증가할수록 폭발압력이 증가하였으나 일정농도를 넘어서면 오히려 폭발압력이 감소하는 경향을 보였다. 이것으로 보아 분진농도가 너무 커도 오히려 폭발효율을 감소시키는 것으로 추정된다.

(4) 전극간 거리가 멀수록 유효착화에너지가 감소되어 폭발이 일어나지 않는 경향을 보였다.

(5) 불활성물질의 첨가할 경우에는 10%이상 첨가할 경우에 폭발억제 효과를 보였다.

5. 참 고 문 헌

- [1] 이내우, 이진우, “최신방폭공학”, 신광출판사, 2005
- [2] 최일곤 외 5명, “소나무 분진의 최소착화에너지와 폭발한계 측정에 관한 연구”, Journal of the Korean Institute of Gas, Vol.2, No.2, June, 1998
- [3] 강석호, “분진폭발의 예방과 방재”, 화학공업과 기술, 제4권 제2호, 1986
- [4] ISO. 6184/1-1985, Explosion protection system -Part 1 : Determination of explosion indices of combustible dust in air, 1985
- [5] Eckhoff, R. K., Dust explosions in the process industries-3rd ed., Gulf professional publishing, 2003
- [6] 한우섭, “이송 배관 내 분진폭발의 화염전파특성”, 화학공학 제47권 제5호, 2009