

식품분진의 폭발 특성과 발화온도에 관한 연구

A study on the explosion properties and Autoignition Temperature of a food additive Dusts

安 亨 換

An, Hyung-Whan

Abstract

A study for the dangerous properties measurement of dust explosion was attended by the various dust concentration on Anthraquinone, Sodiumbenzoic acid, Corn starch, soy sauce powder, and cheese powder. As the result, maximum explosion pressure, the maximum rate of pressure rise, autoignition temperature, and the water content of dust on lower limit explosion concentration was obtained as follows

1. The lower limit explosion concentration on soy sauce powder with the humidity of 65 to 90% increased by increasing the content of moisture, and the effect of dry air and moisture air decreased better in make of dry air.
2. The effect of a various dust concentration on autoignition temperatures is investigated, If the vessel of dust explosion is small size and the easiness of autoignition was controlled by air within the vessel, because it was better decreased air with increasing of dust concentration
3. The maximum explosion pressures of Anthraquinone, sodiumbenzoic acid, corn starch, soy sauce powder, and cheese powder were 1.0g/l, 1.0g/l, 1.5g/l, 1.5g/l, and 1.5g/l, respectively, and the maximum rate of pressure rise were 0.5g/l, 0.5g/l, 1.0g/l, 1.0g/l, and 1.0g/l, respectively.

I. 서론

오늘날 산업에 발달속도에 따라 업종수의 증가도 급격하게 늘고 있는 추세이다. 특히, 그중에서도 분진을 취급하는 업종이 mrp 늘어 분체 도장업, 공해방지용 집진설비업, 약취 흡착용설비업, 사일로(silo)나 사료공장, 분쇄업, 그리고 식품업 및 금속 분체 취급업 등에서 많은 사고가 발생되고 있다. 과거의 분진폭발 재해의 통계로서 일본에서 만 1952~79년 사이 약 28년간 사고발생건수는 209건, 사상자 수는 546명에 달하고 있는 실정이다." 그러나 우리나라의 경우 정확한 통계는 나와 있지 않으나 1994년 산업안전협회 산업재해분석에 따르면 분체 취급업의 재해율이 전체의 약 11.8%를 차지하고 제조업체까지 추가하면 분체취급업의 사고 발생건수는 상

당히 큰 수치이다.⁹⁾ 따라서 분체를 취급할 경우, 그 분체의 위험성을 충분히 평가하고 폭발사고의 발생을 미연에 방지 않으면 안된다. 특히, 새로운 분체들의 경우 기존의 위험성 데이터가 없기 때문에 사업장에서 위험성정도를 파악하기는 불가능한 상태여서 각 사업장에서 취급하는 새로운 분체의 위험성에 관한 역구가 시급한 실정이다.

가연성 분진이 단순히 기계나 기구 위에 적층한 상태로는 점화원에 의하여 점화된다 하여도 큰 위험성은 나타나지 않는다. 그들 분진 입자가 공기중에 있는 폭발한계 농도범위에 분산 부유한 상태, 즉 분진운이 형성되어 있는 상태에 착화에너지가 부여되면 그들의 분진운에 급격한 비정상연소 반응이 일어나고, 그 연소 반응은 주위에 전파하고 충격적인 압력이 발생하기 때문에 그 위험성이 크다고 할 수 있다. 그러나 분진폭발의 메카니즘(mechanism)은 아직도 정확히 밝혀지고 있지는 않았지만 본질적으로는 가소폭발의 메카니즘과 같은 것으로 간주되어지고 있다. 분진폭발의 특징으로서 연소의 속도와 폭발압력은 가스폭발에 비해 작지만 연소시간이 길고 발생에너지가 크기 때문에 그것을 받는 가연물에 국부적으로 굉장한 탄화가 발생하고 특히 인체에 미칠 경우 화상의 위험이 크다. 그리고 분진의 최초국부적폭발에 의한 폭풍이 주위의 분진을 구름상으로 만들기 때문에 2차, 3차 폭발도 파급되고 가스에 비해 불안전연소를 일으키기 때문에 일산화탄소가 다량 발생할 뿐만 아니라 유독성가스가 발생하므로 중독위험이 크다. 따라서 분진폭발의 실험을 통하여 폭발특성 즉, 폭발 상한계농도, 하한계농도, 최저 발화온도, 최소 착화에너지, 폭발한계 산소농도 등 그들의 특성치는 폭발 방지 대책상 극히 중요하다. 그러나 이들은 분진의 폭발여부에 관한 특성으로서 일단 폭발의 여부가 확인된 후에는 최저 폭발압력, 압력개방설비 혹은 폭발 및 전파를 적게 하기 위한 분리기(seperator)설계 등에 있어서 중요하다.³⁾ 그러나 기존의 물질들이 상품화되거나 생산된 금속분진, 그리고 일반 고체분진 등⁴⁻⁶⁾과 혼합가연성가스에 대하여 많은 연구자들에 의해 연구되어 왔다.⁷⁻¹¹⁾ Hartman은 프라스틱 분진의 평균입자 직경과 폭발한계의 관계자로서 평균입자 직경이 작을수록 폭발하한계 농도가 적다는 것을 밝혔고 그 후 10년 뒤 그는 또다시 탄분진의 폭발 하한농도와 입도 분포의 관계에 대한 실험을 통하여 분진의 입자가 200mesh를 통과하는 분진의 백분율이 30%이전에는 폭발하한농도가 급격히 감소하다 30%이상에서는 완만하다는 것을 보고하였다.^{12,13)} 그리고 Portman 등¹⁴⁾은 메탄-공기 혼합기체에서 메탄-공기 혼합기체에서 메탄농도에 따른 탄분진의 폭발하한농도에 미치는 영향에 대하여 발표하였고 Bartknechts는¹⁵⁾ PVC분진의 폭발하한계에 있어서 메탄의 영향에 관한 연구에서 메탄가스의 농도가 증가할수록 또한 PVC분진 농도가 증가할수록 폭발범위는 넓어지는 것을 알렸다. 그러나 분진폭발의 영향을 주는 인자가 입자의 형태, 조성, 수분의 함유량 등 많은 변수에 따라 폭발위력이 현저하게 달라질 수 있고, 산업에 발달에 따른 상품의 다양화에 의한 사용하는 재료의 종류의 증가로 폭발재해 위험성이 복잡성을 띄게 된다. 따라서 다양화된 새로운 유기분진등에 관한 연구는 각 나라에서 사용하는 분진의 종류에 따라 이루어져야 한다고 판단된다. 그러나 국내의 분진폭발에 관한 연구는 거의 없는 실정이고 자료 또한 외국자료를 그대로 사용하고 있는 형편이어서 체계적이고 계획적인 연구가 필수 불가결하다고 본다. 본 연구에서는 유기분진의 폭발특성을 알아보기 위하여 치즈분말(cheese powder), 간장분말(soy sauce powder), 전분(corn starch), 안트라퀴논(anthraquinone), 그리고 안식향산(sodium benzoic acid)등을 사용하여 폭발압력, 폭발 압력상승속도, 분진폭발의 수분함량에 대한 영향 그리고 발화온도 등을 측정함으로써 내압방폭용기, 압력개방설비, 폭발 및 전파를 제어하기 위한 분리기(Seperator)설계 등에 이용하고자 하였다.

II. 실험장치 및 방법

1) 폭발하한계 농도 측정

(1) 실험장치

분진폭발 위험성을 위한 장치로서는 미국 광산국의 hatmann등에 의해 개발된 것을 본실험에서 약간 개량하여 실험하였다. 폭발통의 내경이 64mm이고 길이가 312mm인 아크릴(acryl)의 재질로서 1ℓ의 부피를 가진 것을 이용하였고, 전극은 직경이 2mm인 스테인레스 재질로 폭발통 하부에서 130mm를 설치하였다. 또한 50ℓ 콤프레샤에 내용적 4.5ℓ의 공기분배를 사용하여 폭발통 내부도 일정한 압력으로 조절할 수 있게 하였고 폭발통 내부에서 분진폭발을 유도하기 위하여 네온트렌스(15kv)와 0~10 초까지 조절 가능한 타이머를 설치하여 폭발시간을 조절할 수 있게 하였다. 이와 같이 실험장치를 Fig. 1,2에 나타내었다. 폭발 압력 측정 장치는 폭발하한계 농도측정과 모양은 같지만 폭발압력에 견딜 수 있는 스테인레스를 통기구가 없는 폭발통으로 자체 제작하여 공기 분산압력을 조절 가능하게 하고, 압력 측정계는 폭발통으로 자체 제작하여 공기 분산압력을 조절 가능하게 하고, 압력 측정계는 폭발통 중상부에 부착시켜 압력변환기(charge amplifier)를 통하여 기록계(Recorder)로 기록하였다. 이때 폭발통 내경70mm이고, 길이는 305mm, 이때 폭발통의 내용적을 1.23ℓ로 Fig.3과 같았다. 전극은 폭발하한계 농도측정과 같은 내경을 가진 것을 폭발통 하부로부터 114mm에 설치하여 사용하였다

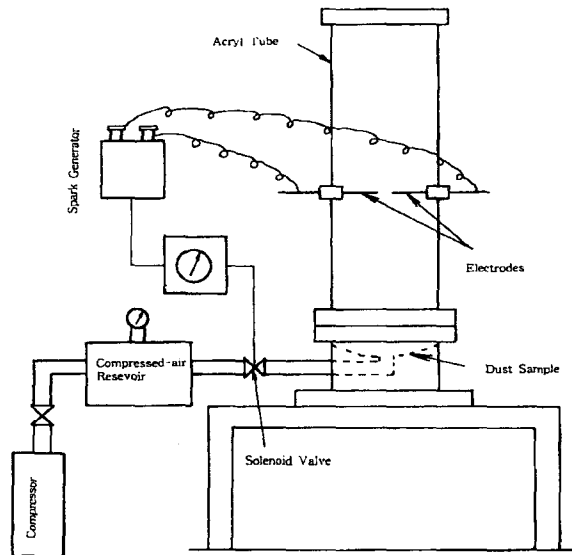


Fig.1. Apparatus for measuring the Maximum Explosion Pressure of a Dust Cloud

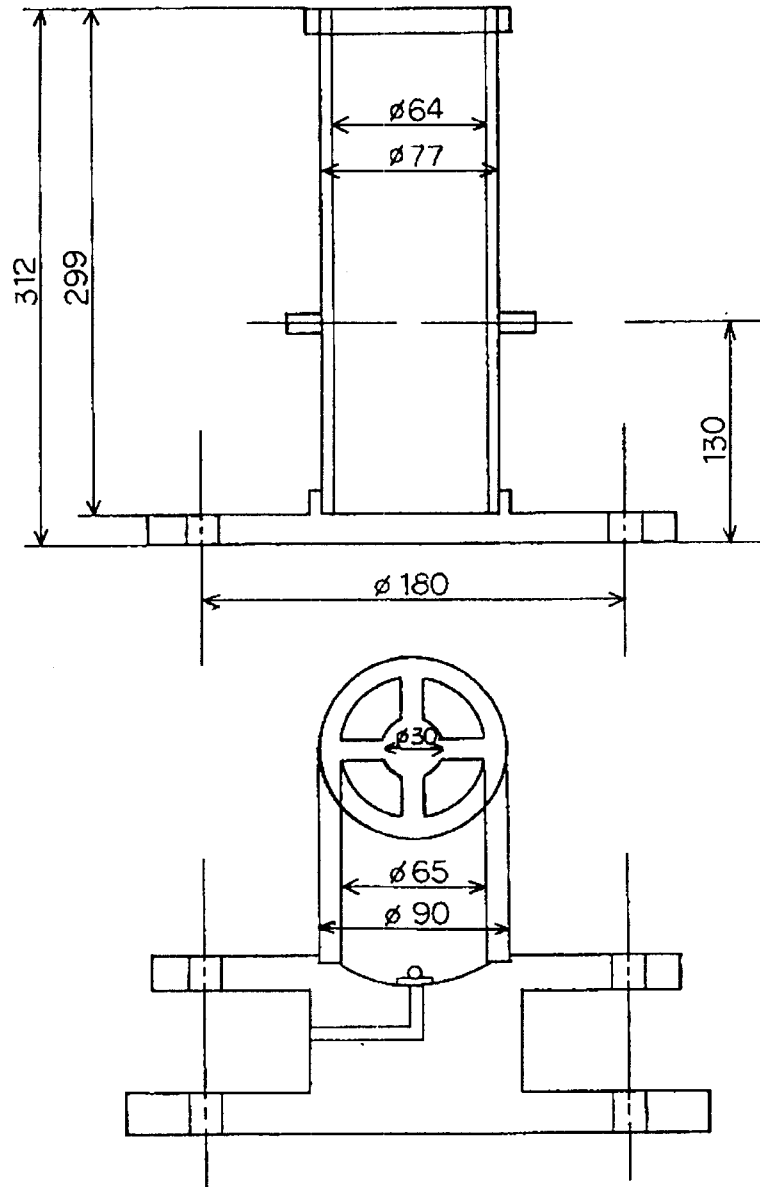


Fig.2. Laboratory Apparatus "modified Hartmann-Apparatus"

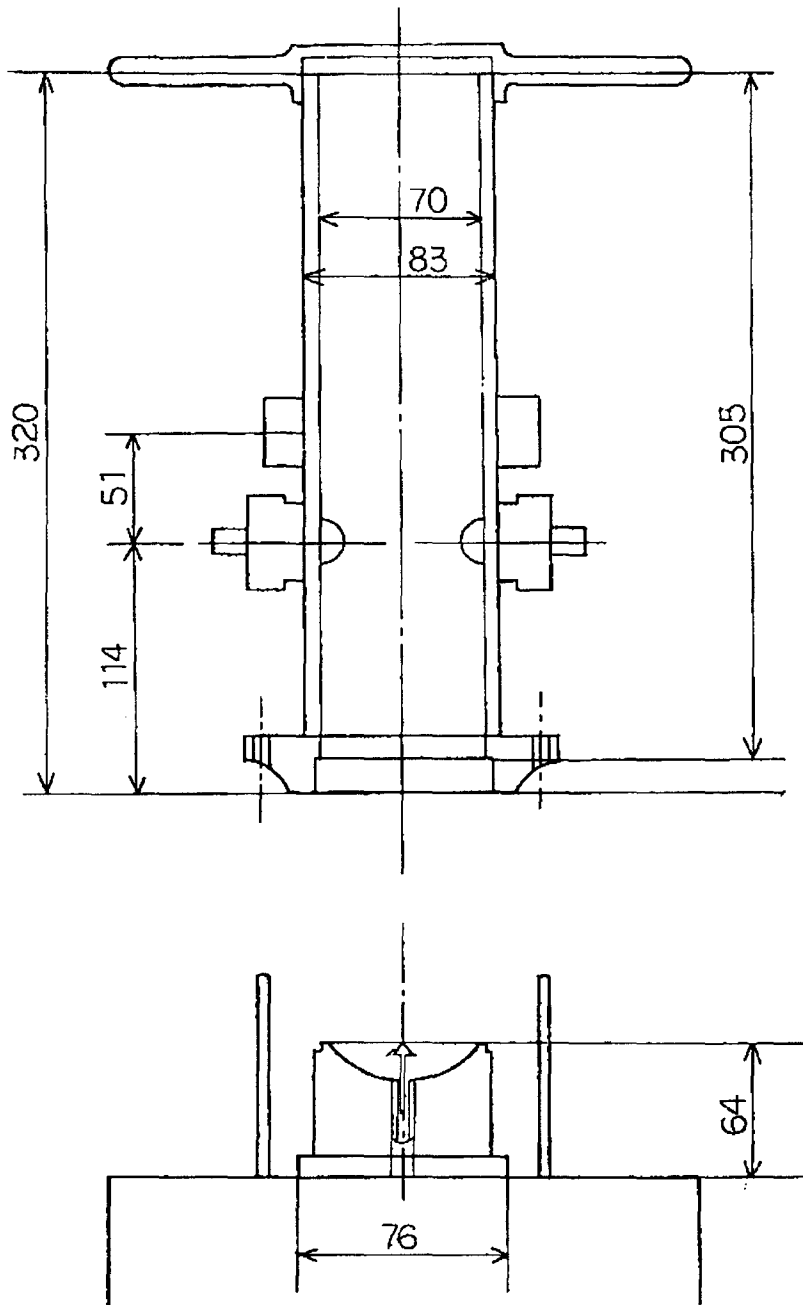


Fig.3. Apparatus for measuring the Maximum Velocity of Pressure

(2) 실험방법

측정하고자 하는 시료를 체(sieve)를 통하여 200mesh에 통과하는 것만을 데시케이터를 사용하여 건조시킨 다음 수분의 함량을 조절하였다. 이렇게 분류된 시료를 전자저울을 통하여 일정량을 평량한 다음 폭발통 하부에 균일하게 되도록 넣고 폭발통의 상부를 거름종이 3겹 또는 알루미늄 호일등으로 막고 뚜껑을 덮는다. 그리고 이미 가동된 콤프레샤(compressor)에 공기의 압력이 높아지면 중간 홀딩탱크(compressed-air reservoir)에 보내 일정한 압력(0.4~0.6kg/cm²)으로 맞추었다. 그 후 타이머의 착화 지연시간을 0.1초로 조절하여 점화시켰다. 이 때 폭발의 판정은 폭발통 상부에 막아 놓았던 거름종이 또는 알루미늄 호일의 3장 모두 파괴되었을 때와 불꽃의 섬광에 의해 폭발 여부를 판정하였다. 이상과 같은 조작은 한가지 시료에 대해 5회 반복 실험하여 평균 농도 값을 취했다. 또한 폭발압력 측정 방법은 기록계의 바늘 위치 범위를 정하여 0점에 조절하고 분진 분산 압력을 7~8kg/cm²로 설정한 후 측정은 폭발하한계 농도와 같은 방법으로 행하여 최대 폭발 압력과 최대 승압 속도를 얻었다.

III. 실험결과 및 고찰

1. 폭발하한계농도

분진폭발 하한계 농도는 하한계 시료량과 폭발통 내용적으로 다음식에 의해 산출하였다.

$$\text{폭발하한계농도}(mg/\ell) = \frac{\text{하한계시료량}(mg)}{\text{폭발통내용적}(\ell)} \dots\dots\dots(1)$$

식 1)에 의해 산출된 폭발하한계 농도 측정결과를 Table 1에 나타내었다. 또한 분진의 습도에 따른 폭발특성은 알아보기 위하여 Fig.4에서 보는 바와 같이 습도를 65~90%로 변화시켜 그의 따른 폭발특성 변화를 살펴본 결과 폭발하한계 농도는 크게 나타나는 것을 할 수 있었다.

Table 1. The lower limit concentrations of a dust explosion at various humidity

Material	Concentration (mg/ℓ)	Condition of measurement	
		Temperature	Humidity[%]
Cheese powder	100	15	60
Soy sauce powder	130	30	65
Constarch	125	15	60
Anthraquinone	45	15	70
Sodium Benzoic Acid	190	15	60

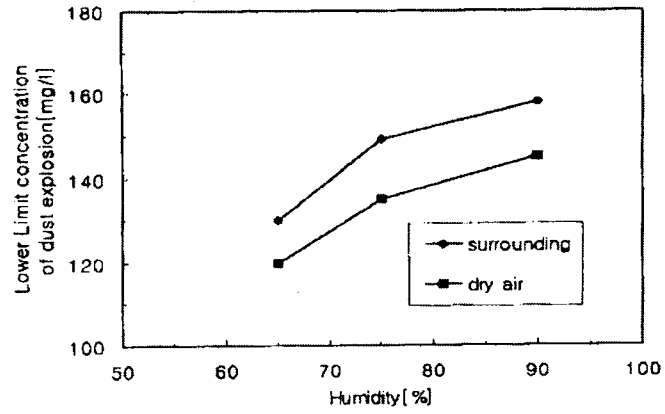


Fig. 4. The effect of Humidity on the lower limit explosion concentration of soy sauce powder

2. 발화온도

발화온도를 측정하기 위하여 시료의 양을 0.1~1.0g로 변화시켜가며 측정하였다. 그 결과 Fig.5에서 나타난 바와 같이 분진량의 증가에 따라 발화온도가 500mg에서 가장 발화온도가 높은 것으로 나타났다.

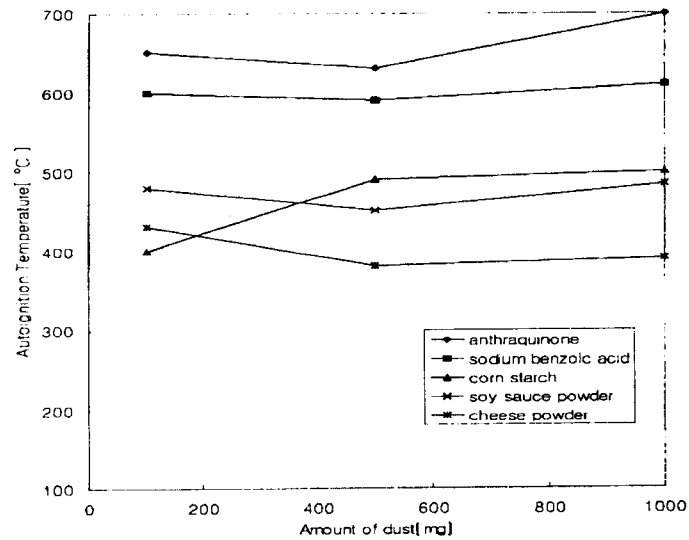


Fig. 5. The effect of the amount of dust on autoignition temperature

그 이유는 발화온도 실험장치의 전기로의 용적(0.3 l)이 작기 때문에 시료량을 증가 시켜도 전기로의 시료와 반응하는 산소량은 부족하게되고 시료자신이 불활성 분진의 역할을 하여 발화를 억제한다고 판단된다. 또한 발화현상을 살펴보면 최저발화온도 근처에서 발화지연시간이 길어지는 것을 알 수 있었다

3. 최대폭발압력 및 최대폭발 승압속도

최대폭발압력 및 최대폭발 승압속도를 측정하기 위하여 분진농도를 0.5~2.0g/l로 변화시켜가며 실험하였다. 그 결과 Fig.6,7에서 나타난 바와 같이 Anthraquinone과 Sodium Benzoic Acid인경값을 보였다. 그러나 전분, 간장분말, 치즈분말에 경우 최대폭발압력이 1.5g/l이었고 최대승압속도는 1.0g/l에서 가장 높은 압력으로 나타났다. 이들의 경우도 밀폐계에서 산소량은 일정하고 시료농도가 증가함에 따라 산소의 공급이 부족한 분진 입자가 많아지게 되므로서 산소를 공급받지 못한 분진입자는 오히려 불활성 분진의 역할을 하는 결과를 초래하기 때문이다.

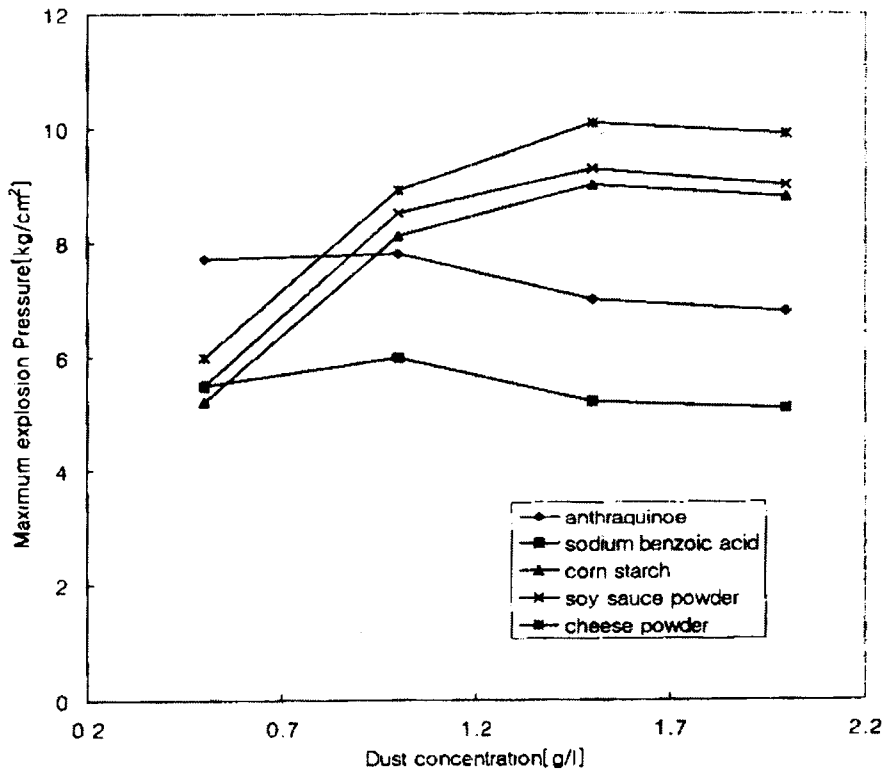


Fig. 6. The effect of dust concentration on maximum explosion pressure

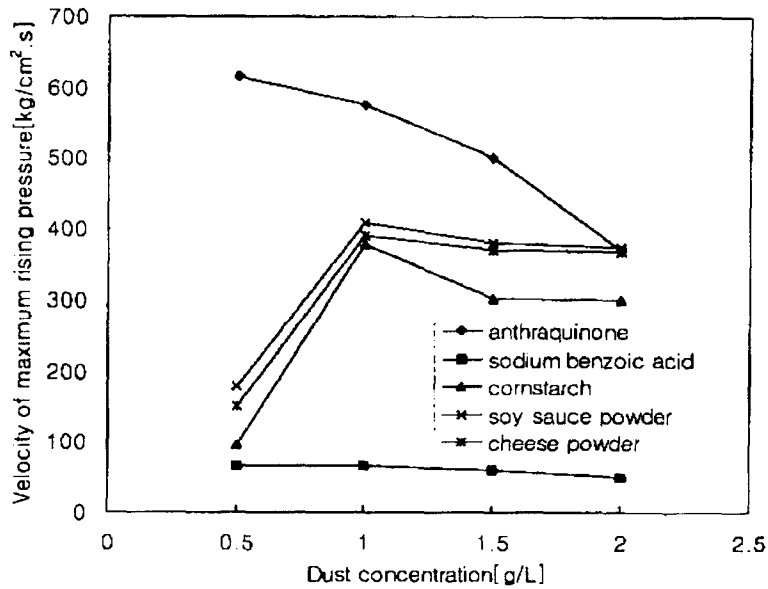


Fig. 7. The effect of dust concentration on the maximum rate

IV. 결론

분진의 폭발 및 발화 위험성을 알아보기 위한 연구로서 Anthraquinone, Sodium Benzoic Acid, Corn Starch, Soy Sauce Powder 그리고 Cheese Powder의 농도를 변화시켜가며 발화 온도, 최대 폭발압력, 최대 승압속도 등의 변화를 살펴 본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 간장분말(Soy Sauce Powder) 시료의 습도를 65~90%로 변화시켜 폭발하한농도의 영향을 살펴본 결과 습도가 높을수록 폭발하한농도는 커지는 것을 알 수 있었고 건조 공기를 사용하였을 경우 주의 공기를 사용했을 경우보다 폭발하한농도 증가속도가 감소하였다.
2. 분진농도에 따른 발화온도의 변화관계에 대한 실험결과 실험장치중 전기로의 크기가 작으면 분진농도를 증가시켜도 전기로 내의 공기가 일정한 관계로 미반응 분진의 영향으로 인한 발화역지 현상을 나타내었다.
3. 최대 폭발압력과 최대 승압속도를 측정하기 위하여 다섯가지의 분진을 이용하여 실험한 결과 분진농도에 따른 최대폭발압력과 최대 승압속도가 Anthraquinone, Sodium Benzoic Acid인 경우, 각각 1.0g/l, 0.5g/l였고, 나머지 전분, 간장분말 그리고 치즈분말은 각각 1.5g/l, 1.0g/l임을 알 수 있었다.

[참고문헌]

1. 대한산업안전협회, "1994 산업재해분석", 대한산업안전협회 출판, pp.17~155, 1994.
2. 金 鴻, 申昌燮, 印世鎭, 秋炳吉, "防爆工學", 安全工學講座 2 爆發編, 東和技術, pp.65~106, 1997.
3. 角田智彦, "粉じんの爆發危險性評價に關する研究", 横浜國立大學工學部安全工學科卒業論文, pp.1~32, 1987.
4. O. Peraldi and B. Veyssiere, "Experiential Study of Detonations in Starch Particle Suspension with O_2/N_2 , H_2/O_2 and C_2H_4/O_2 Mixtures", Dynamics of Explosions, AIAA. New York, NY, 1986.
5. R.K Eckhoff, "Assessing Ignitibility and Explosibility of Dust clouds in Industry by Laboratory Tests", Proc. of Shengyang Int. symp. on Dust Explosion, shengycmg, china, 1987.
6. R.K Eckhoff, "Scaling of Vented Dust Explosions in Large silos", Third Int. on Dust Explosions, szczyrk, poland, 1987.
7. G.E. Abouseif and T.Y.Toong, " on Direct Initiation of Gaseous Detonations"; Combustion & Flame, 45, pp. 39~46,1982.
8. G.E. Andrews and D. Bradley, "Deternation of Burning Velocities : A critical Review", combustion & Flame, 18, pp.1~33, 1972.
9. E.J. Anthony, "some Aspects of unconfined vapor cloud Explosions", Jour. Haz. MAT., 1, pp.289~301, 1976.
10. W.B Benedick, "high Explosive Initiation of Methane-Air Detonations.", Combustion and Flame, 35, pp.89~94, 1979.
11. J.A. Davenport, "A Survey of Vapor Cloud Incients", Chemical Engineering Progress, 73, 9, pp.54~63, 1977.
12. I. Hartmann, J. Nagy, "Inflammability and Explosibility of Powders used in the plastic Industry" RI 3751 U.S. Bureau of Mines, 1944.
13. I. Hartmann, M. Jacobson, and R.P.williams; "Laboratory Explosibility Study of American Coals" RI 5052, U.s. Bureau of Mines, 1954.
14. W. Bartnecht, "Bericht uber Versuche zur Erprobung Von Sichererbeitsmasnahmen gegen Explosinen in Wirbelschittrocknern" , CIBAGEIGY Limited, 1961.
15. W. Barnecht, "Explosion Protection Measures on Fluidized Bed Spray Granulators and Fluidized Bed Driers", CIBA-GEIGY Limited, 1975.