

쌀겨 분진의 연소 및 폭발 위험성에 관한 연구

이창우 · 현성호 · 이한철* · 허윤행**

경민대학 소방안전관리과 · *인하대학교 화학 · 고분자 · 생물공학부

**서울보건대학 식품가공과

Study on Combustion and Explosion Hazard of Rice Bran Dusts

Chang-Woo Lee · Seong-Ho Hyun · Han-Chul Lee* · Yun-Haeng Hur**

*Kyung Min College Euijeongbu Korea · *Inha Univ. In Chun Korea*

***Seoul Health College Sung Nam Korea*

Abstract

We had investigated combustion properties of rice bran dusts. Decomposition of rice bran dusts with temperature were investigated using DSC and the weight loss according to temperature using TGA in order to find the thermal hazard of rice bran dusts, and the properties of dust explosion in variation of their dust with the same particle size. Using Hartman's dust explosion apparatus which estimate dust explosion by electric ignition after making dust disperse by compressed air, dust explosion experiments have been conducted by varying concentration and size of rice bran dust.

According to the results for thermodynamic stability of rice bran dust, there are little change of initiation temperature of heat generation and heating value for used particle size. But initiation temperature of heat generation decreased with high heating rate whereas decomposition heat increased with particle size. Average maximum explosion pressure was 10 kgf/cm² for 60/70 mesh and 1.5mg/cm³ dust concentration.

I. 서 론

산업이 고도로 발달함에 따라 인류는 여러 가지 재해에 직면하게 되며, 재해의 규모나 종류도 다양하게 변화하고 있다. 그 중에서 가장 대표적인 화재나 폭발에 의한 재해는 규모가 클 뿐 아니라 모든 산업현장이나 공정에서 폭 넓게 발생하고 있다.

이와 같은 화재를 일으키는 가연성 물질로는 기체, 액체, 고체의 세가지 형태가 존재한다. 이중에

서 가연성 액체와 기체의 경우 가연성 가스 또는 가연성 액체의 증기가 공기와 혼합하여 불꽃, 불티, 전기스파크 등의 점화원에 의해 인화됨으로서 대형화재로 전과된다. 그러므로 액체의 경우에는 응점, 비점, 인화점등이 위험도의 척도이며, 특히 인화점이 가연성 액체의 위험도를 측정하는 가장 중요한 척도라 할 수 있다¹⁾. 반면, 가연성 기체나 증기의 경우에는 공기나 산소 등의 지연성 기체와 혼합하여 혼합 기체의 조성이 일정한 농도 범위에

있는 경우에만 외부 점화원에 의해 점화되면 화염이 전파하고 기체폭발을 일으키는데 이러한 혼합기체의 조성을 연소범위라 하며 이것은 가연성 기체의 위험성의 척도이다²⁾. 따라서 가연성 액체나 기체 단독의 위험성은 인화점이나 연소범위 등과 같은 물리적인 측정치로부터 쉽게 예측할 수 있다.

그러나 고체 형태의 가연성 물질의 경우에 입자의 크기, 입도 분포, 분해온도, 입자의 형태, 화학 조성, 가연성액체나 기체와의 혼합 등 여러 가지 복잡한 변수에 의해 연소 위험성이 변화한다. 특히 유기물이 주성분을 이루고 있는 쌀겨와 같은 농산물은 공기 중에서 산화가 용이하며 그 산화열이 축적되어 자연발화나 혼소^{3,4)}를 일으킬 수 있으며, 열전도도가 매우 작기 때문에 열교환기나 모터와 같은 가열된 구조물 위에 퇴적되는 경우 열의 축적에 의해 유염 연소를 일으키거나 혼소가 발생할 수 있는 위험성도 내포하게 된다. 또한 부유 분진의 경우에는 외부의 착화원에 의해 분진폭발의 위험성을 내포하고 있으며, 쌀겨와 같은 농산물 관계 분진이 전체 분진폭발 빈도중 35~56%를 차지할 정도로 가장 많으며 그 피해도 상당히 큰 것으로 알려져 있다⁵⁾.

이러한 분진폭발에 영향을 미치는 인자는 분진의 화학적 조성, 활성화에너지, 표준 연소열, 분진의 입도와 형상, 분산상태, 수분함량, 비표면적, 존재하는 산소의 량, 기체 중 분진의 농도 등이 중요한 변수가 된다. 이러한 물질의 분진 폭발성 뿐 아니라 일반적인 위험성을 조사하기 위한 가장 간단한 측정방법은 시차 주사 열량계(DSC)를 이용하여 물질의 발열개시온도, 분해열 등을 측정함으로써⁶⁾ 분진의 폭발뿐 아니라 열적 위험성을 예측할 수 있다. 또한, 분진의 폭발성을 측정하는 방법으로는 압축공기에 의해 분진을 강제 분산시킨 후 전기 점화에 의해 폭발 여부를 측정하는 Hartman 식⁷⁾ 장치가 미국에서 개발되었으며, 분진의 위험성을 측정하는 장치로 가장 널리 이용되고 있다.

따라서 본 연구에서는 쌀겨분진의 연소위험성을 조사하기 위하여 다음의 두가지 방법을 사용하였다. 첫째는 쌀겨분진의 온도에 따른 연소특성을 조사하기 위하여 시차주사열량계(DSC) 및 열중량분석기(TGA)를 이용하여 온도에 따른 발열개시온

도, 발열량 등을 조사하였으며, 둘째로 압축공기에 의해 분진을 강제 분산시킨 후 전기 점화에 의해 분진의 폭발성을 측정하는 Hartman 식 측정장치를 이용하여 쌀겨분진의 분진폭발 위험성을 측정하고자 하였다. 먼저 쌀겨분진의 열적 거동을 조사하기 위하여 승온속도와 시료량을 변화시키면서 시차 주사 열량계(DSC)를 이용하여 발열개시온도, 발열량 등을 측정하였으며, TGA를 통하여 분해온도 및 분해량을 조사하고자 하였다. 또한 쌀겨분진 시료를 입도별로 분리하여 Hartman 식 장치를 이용하여 입도에 따른 분진폭발성을 조사함으로써 쌀겨분진과 같은 농산물 분진에 의한 여러 가지 재해의 예방대책을 수립하는 기초 자료로 활용하고자 하였다.

II. 실험방법

1. 시료의 준비

본 실험에 사용한 시료는 쌀겨로서 분쇄과정을 거쳐 40/50mesh, 50/60mesh, 60/70mesh, 70/80 mesh 및 80/100mesh로 체가름하여 110°C로 유지된 건조기(Drying Oven) 속에서 24시간 건조시킨 후 데시케이터(Desiccator)에서 48시간 방냉하여 실험에 사용하였다.

2. 특성 평가

2-1. 열적 위험성 평가

본 실험에서 사용한 쌀겨의 열적 안전성 평가를 위해 시차주사 열량계(Differential Scanning Calorimeter, DSC) [Model: DSC 2910, TA Instruments, U.S.A.]를 이용하여 발열개시온도, 발열량 등을 측정하였다. 이 때 승온속도 및 분위기 기체에 의한 영향을 고찰하였고, 시료의 입도분포에 따른 열분해 위험성을 평가하기 위하여 열중량분석기(Thermogravimetric Analysis, TGA) [Model: STD 2960, TA Instruments, U.S.A.]를 이용하여 분해개시온도 및 열분해 특성을 측정하였다.

2-2. 분진폭발 특성평가

쌀겨분진의 연소특성을 평가하기 위한 분진폭발 실험은 5 Kgf/cm²로 일정하게 유지되도록 압축기를 이용하여 압축공기로 강제 분산시킨 후 전기 점화에 의해 폭발성을 측정하는 Hartman 식 분진폭발 시험장치를 이용하였으며, 점화에너지는 6kV로 일정하게 유지하였다. 그 밖의 실험 장치와 방법은 진보[8]와 동일하게 수행하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 시차주사 열량계(DSC)에 의한 열안전성 평가

1-1. 승온속도의 영향

승온속도에 따른 열적 안전성을 조사하기 위하여 80/100 mesh의 입도를 갖는 쌀겨를 시료로 하여 분위기 가스로 Ar를 60 ml/min의 속도로 주입하면서 승온속도를 5 °C/min, 10 °C/min 및 20 °C/min로 변화시키면서 DSC 분석을 실시하였으며, 그 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 승온속도가 증가하여도 발열개시온도는 차이를 보이고 있지 않으나, 발열량은 증가하고 있음을 알 수 있다. 이는 쌀겨 분진의 열전도율이 낮기 때문

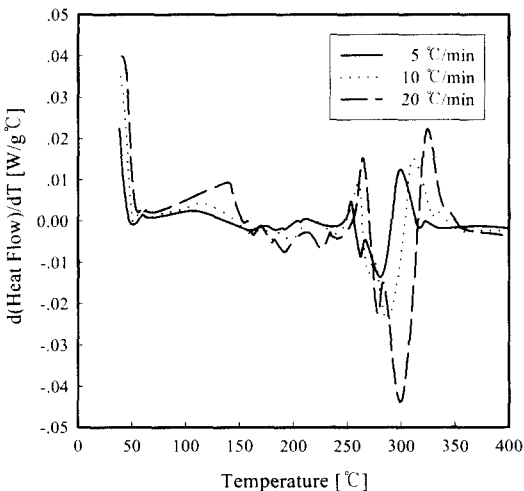


Fig. 1. DSC curve of Rice Bran Dusts according to heating rate.[80/100 mesh, atmospheric gas : Ar]

에 승온속도가 증가하여도 발열개시온도에는 큰 영향을 미치지 않으나 승온속도에 따라 주위의 온도가 크게 상승하여 발열량이 증가하는 것으로 사료된다.

1-2. 입도의 영향

본 연구에 사용한 쌀겨의 입도가 열적 안전성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 쌀겨를 체가름하여 40/50mesh, 60/70mesh, 및 80/100mesh의 입자를 시료로 선택하여 DSC 분석을 행하였다. Fig. 2는 불활성 기체인 Ar 기체를 60 ml/min의 속도로 주입하면서 승온속도 20 °C/min의 조건으로 가열 분해시켰을 때의 DSC 결과이다. 그림에 나타난 바와 같이 입도 변화에 따라 발열개시온도는 비교적 작은 편차를 보이고 있으나, 입도가 작아질수록 발열량은 증가하고 있음을 볼 수 있다. 이러한 결과는 앞서 언급한 바와 같이 열전도율이 작기 때문에 발열개시온도는 큰 영향을 받지 않으나 입도가 작을수록 분해율이 크게 증가하기 때문에 나타나는 현상으로 사료된다.

1-3. 분위기 기체의 영향

80/100 mesh 사이의 입도를 갖는 시료를 승온속도를 20 °C/min 조건하에서 분위기 기체로 Air 및

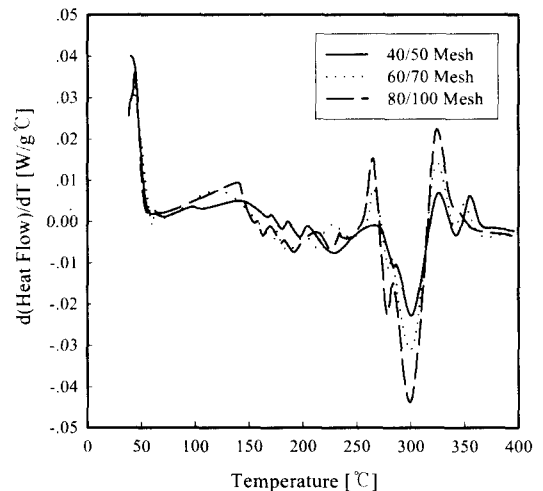


Fig. 2. DSC curve of Rice Bran Dusts according to size distributions. [heating rate : 20 °C/min, atmospheric gas : Ar]

Ar을 각각 60 ml/min의 속도로 주입하면서 DSC 분석을 실시하여 그 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 분위기 기체를 불활성 기체인 Ar을 사용하는 경우보다 조연성 기체를 포함하는 Air를 사용하는 경우 발열개시온도가 낮아지고 있으며, 발열량도 크게 증가하는 것을 볼 수 있다.

이는 분위기 기체로 조연성 기체를 사용하는 경우 가연성 분진의 산화 분해를 촉진하여 그 위험성이 매우 증가하는 것으로 볼 수 있으며, 따라서 쌀겨분진을 취급하는 장소가 대기 중인 경우 화재의 위험성을 내포하고 있다고 볼 수 있을 것이다.

2. 열중량분석기(TGA)에 의한 열분해 위험성

Fig. 4는 온도에 따른 시료의 열분해 특성을 조사하기 위하여 시료의 입도를 40/50mesh, 60/70 mesh, 80/100mesh 범위로 변화시키면서 시료를 승온속도 10 °C/min, 분위기기체를 Ar, 60 ml/min의 속도로 흘려보냈을 때 분해개시온도나 분해곡선에 미치는 영향을 TGA분석한 결과이다. 그림에서 보는바와 같이 시료의 입도분포가 작아질수록 분해온도는 유사하나 분해율은 동일한 온도에서

서 시료입자의 크기가 감소할수록 증가하고 있으며, 온도가 증가할수록 차이는 감소하나 입도분포가 가장 작은 80/100 mesh의 경우 350°C 이상에서 분해율이 크게 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 시료입자의 크기가 작은 경우 비표면적이 증가하기 때문에 접촉면적의 증가로 분해율이 크게 증가하는 것으로 사료되며 이는 분해성 유기물질의 일반적인 경향성과 일치하는 결과이다.

3. 연소특성

쌀겨 분진의 분진폭발 특성을 조사하기 위하여 40/50mesh, 50/60mesh, 60/70mesh, 70/80mesh 및 80/100mesh로 체가름된 시료의 농도를 0.9mg/cm³~1.8mg/cm³로 변화시키면서 동일한 입도에 대해 10회 이상 폭발실험을 반복해서 수행하여 각각에 대한 분진폭발 특성을 조사하였다. 한편 10회의 분진폭발압력 측정시 매 실험마다 결과값이 약간씩 상이하게 측정되는 관계로 Q-test[9]에 의해 측정값의 범위를 계산하였다. 이로부터 얻어진 결과 값들을 평균하여 폭발압력을 나타내었다.

Fig. 5는 시료의 농도와 입도가 분진폭발에 미치는 영향을 조사하기 위하여 점화에너지 6kV 하에서 분진의 농도와 입도를 각각 0.9mg/cm³~1.8mg/cm³와 40/50, 50/60, 60/70, 70/80 및 80/100 mesh로

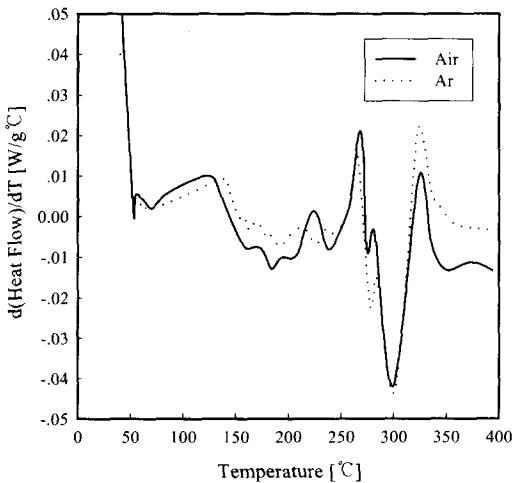


Fig. 3. DSC curve of Rice Bran Dusts according to atmospheric gas. [80/100 mesh, heating rate : 20 °C/min]

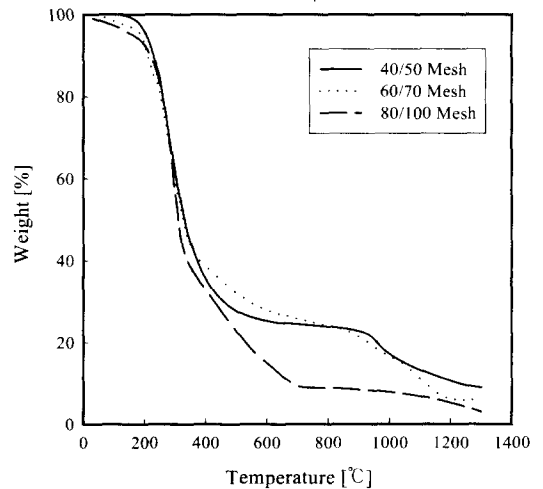


Fig. 4. TGA curve of Rice Bran Dusts according to heating rate. [heating rate : 10°C/min, atmospheric gas : Ar]

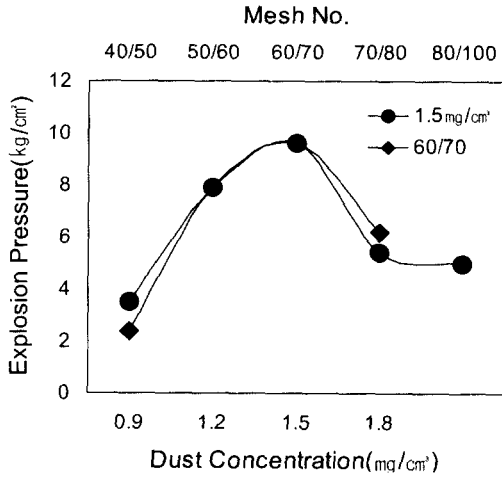


Fig. 5. Average maximum explosion pressure at various dust concentrations and size distributions.

변화시키면서 최대폭발 압력을 측정하여 도시한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 분진의 농도 변화의 경우 초기에는 시료의 농도가 증가할수록 폭발압력이 증가하고 있으며, 1.5mg/cm에서 최대폭발 압력을 나타내고 그 이상의 농도에서는 농도가 증가함에 따라 폭발압력이 감소하고 있다. 이는 분진의 농도가 지나치게 큰 경우 분해가스의 농도가 매우 증가하여 연소범위를 벗어나서 발생하는 것으로 사료되며, 이는 폭발시 불완전 연소에 의한 그을음이 발생하는 것과도 일치하는 결과이다. 한편 입도의 경우도 시료의 입도가 작아질수록 폭발압력이 증가하여 60/70 mesh에서 약 10kg/cm²의 최대폭발압력을 나타내나, 그 이하의 입도에서는 오히려 폭발압력이 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이러한 현상은 폭발을 하는 과정에서 입도가 약간 큰 경우에 비해 그을음이 많이 나는 현상이 관찰되는 것으로 미루어 볼 때 열중량 분석의 결과에서 언급한 바와 같이 입도가 미세할수록 분해량이 증가하기 때문에 연소범위를 벗어나기 때문으로 사료된다.

한편, Fig. 6은 쌀겨분진의 입도와 농도에 따른 최대폭발압력의 변화를 관찰하여 도시한 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 농도가 낮은 경우에는 모든 입도에서 최대폭발압력이 거의 유사하나, 분

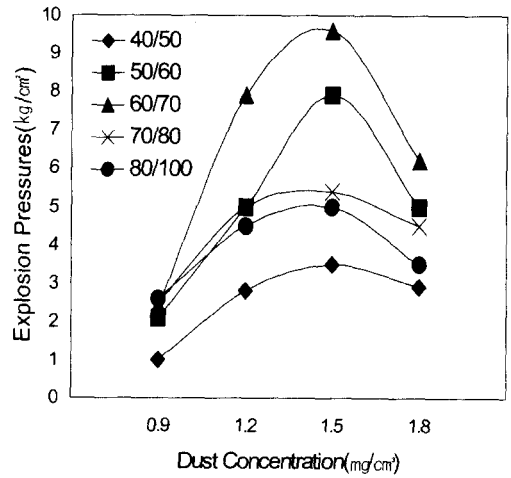


Fig. 6. Explosion pressure at various dust concentrations.

진의 농도가 증가할수록 최대폭발압력도 증가하고, 그 차이도 크게 나타난다. 그러나 입도의 경우는 앞서 언급한 바와 같이 입도가 미세해질수록 최대폭발압력이 증가하나 60/70 mesh에서 최대폭발을 나타내고, 그 보다 작은 입도에서는 오히려 폭발압력이 작게 나타나고 있다. 이러한 결과도 앞서 언급한 바와 같이 분해가스의 농도가 연소범위 이상으로 많기 때문으로 사료되며, 이와같은 결과에 대한 계속적인 연구가 필요하다.

IV. 결론

이상의 실험 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. DSC 분석 결과 승온속도가 증가하고 입도가 미세해질수록 발열량이 증가하고 대기 분위기에서 발열량이 증가하였다.
2. TGA 분석 결과 입도가 미세해질수록 분해량이 증가하였다.
3. 쌀겨분진의 폭발 위험성은 입도가 감소하고 농도가 증가할수록 증가하였으며, 60/70 mesh, 1.5 mg/cm²에서 약 10kg/cm²의 최대폭발압력을 나타내었다.

참 고 문 헌

1. 오백균 : 위험물질론, 신광문화사, p123, 1998.
2. 김 홍외 3인 : 방폭공학, 동화기술, p23, 1992.
3. 현성호외 3인 : 위험물 화학, 동화기술, p279, 1998.
4. 최정화 : 셀룰로우스의 혼소연소에 관한 연구, 소방논집, 7, 중앙소방학교, p249, 1997.
5. I. John E. B. : Emergency management of Hazardous Materials incidents, NFPA, p159, 1995.
6. 현성호외 1인 : 소방화학실험, 동화기술, p234, 1997.
7. I. Hartman 외 2인 : RI 4835 U.S. Bureau of Mines, p358, 1951.
8. 이창우, 함영민, 김정환, 현성호 : “가축사료의 분진폭발 위험성에 관한 연구”, 한국화재·소방학회지, 2(2), p61, 1998.
9. 최재성 : 분석화학, 동화기술, p45, 1992.