

쌀겨 분진의 훈소 위험성에 관한 연구

A study on the Smoldering hazard of Rice bran dust.

이창우·김정환·현성호

Chang Woo Lee · Jung Hwan Kim · Seong Ho Hyun

Abstract

We intended to investigate combustion properties of rice bran dust. Combustion properties of rice bran dust according to size distribution and amount were measured as temperature variation with time using spontaneous ignition apparatus. Moreover, combustion properties with blowing or without blowing condition were checked in order to investigate combustion properties in spontaneous ignition apparatus according to flow condition of air.

As the mass and size of rice bran dust was increased, initial smoldering temperature was lowered. All of combustion forms were smoldering combustion. Initial smoldering temperature was slightly lower with blowing condition than without blowing condition in spontaneous ignition apparatus, which condition made heating value high.

국문 요약

쌀겨분진의 훈소위험성을 조사하기 위하여 자연발화 시험기를 이용하여 시료의 입도분포 및 시료량에 따른 쌀겨분진의 연소특성을 시간에 따른 온도의 변화로 측정하였다. 또한 자연발화 시험기 내부의 공기흐름에 따른 연소특성을 조사하고자 자연발화시험기 내부를 송풍과 무풍 상태로 하여 연소상태를 관찰하였다.

연구결과, 쌀겨분진의 연소에 따른 발열개시온도는 약 180℃~210℃ 범위에 있으며, 시료입도에 따른 훈소 개시온도의 차이가 크지는 않으나, 시료량이 증가함에 따라 훈소 개시온도가 다소 낮아지고 있었다. 또한 시료의 양이 증가할수록 훈소시 시료 내부의 온도차가 크게 발생하는 것을 볼 수 있으며, 시료의 입도가 미세할수록 훈소시 시료 내부의 온도차는 다소 증가하는 형태를 보이고 있다. 한편, 시험기 내부가 송풍상태일 때 보다 무풍상태로 실험하였을 경우 훈소 개시시간이 다소 빨라지고 있으며, 발열온도도 크게 나타났다.

* 경민대학 소방안전관리과

* Kyung Min College Euijeongbu Korea

1. 서론

수년간 산업계나 주택, 고층건축물, 기타 가스나 석유제품에 의한 폭발화재로 인한 재해가 눈에 띄게 다발하고 있다. 이들 폭발화재사고의 원인은 주로 가스나 액체류이고 가연성 분진에 의한 것은 거의 발견되지 않는다. 하지만, 분진에 의한 폭발사고는 어느 정도 규모인지, 물적손해는 어느 정도가 되는지 불명확하지만, 수억을 넘는 손해를 낸 재해가 꽤 있기 때문에 막대할 것으로 사료된다. 이런 재해의 경우 보통 화학공장보다는 곡물싸이로나 사료공장, 중소규모의 금속공장이나 제재공장이 중심이 되어 발생하고 있다. 이는 가연성분진의 폭발위험성에 대한 일반적인 인식부족과 신기술이나 공해 대책상의 설비장치에 안전이 취급되지 않았다고 하는 현실을 나타내고 있는 것이다. 따라서 이들 가연성분진에 대한 연소특성을 조사하는 것은 그에 대한 화재위험성을 사전예방 조치하는데 큰 도움이 될 것으로 사료된다. 한편 고체형태 가연성 물질의 경우에 입자의 크기, 입도 분포, 분해온도, 입자의 형태, 화학 조성, 가연성액체나 기체와의 혼합 등 여러 가지 복잡한 변수에 의해 연소 위험성이 다양하게 변화한다[1~4]. 특히, 분진은 고체가 분쇄 및 가공에 의해 발생하거나 증발, 비등, 응축등의 상 변화로부터 생성된 미립자의 무리가 기계적 교반이나 공기의 유동등에 따라 발생하기도 하며, 이들은 액체의 미립자 즉 mist의 상태와 거의 동일하며, 실제로 우리가 직면하는 분진은 더욱 입자가 커서 대강 10^3cm 정도이하의 입자이며, 균일한 입자인 것은 거의 없고 aerosol과 같은 작은 것에서부터 꽤 굵은 것이 혼합하여 있는 것이 상식이다[5].

특히 유기물이 주성분을 이루고 있는 쌀겨분진과 같은 농산물은 분쇄과정에서 발생하는 미분예 의한 분진폭발의 위험이나 공기 중에서 산

화하고 그 산화열이 축적되어 자연발화를 일으킬 수도 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[6].

이러한 혼소는 가열에 의해 표면 산화반응으로 유기물이 주성분인 분체가 다량의 연기와 유독가스를 방출하나 화염은 발생하지 않고 연소하는 현상을 의미한다. 이러한 혼소 현상은 화염을 발생하는 유염 연소에 비해 온도는 낮을지라도 불완전 연소에 의해 유독성물질을 발생하며 유염연소의 개시에 커다란 영향을 미치기 때문에 대단히 위험하다. 그러나 국내에서는 셀룰로오스 단열재에 대한 연소특성에 대한 연구[7]와 그밖의 단열재에 대한 연소특성 및 혼소에 관한 연구[8]는 많이 진행되고 있으나 농산물과 같은 자연발화나 혼소 위험성이 있는 분진등에 관한 연구는 거의 수행된 적이 없다.

따라서 본 연구에서는 기존 셀룰로오스에 관련된 혼소연구를 바탕으로 다음과 같은 방법을 통하여 쌀겨분진의 연소특성에 대하여 조사하고자 하였다. 먼저 자연발화 시험기를 이용하여 시료의 입도분포, 시료량에 따른 쌀겨분진의 연소특성을 시간에 따른 온도의 변화를 측정하여 연소개시시간 및 연소시 상승하는 온도를 측정함과 동시에 육안으로 연소상태를 관찰하고자 하였다. 또한 송풍과 무풍 상태에서 자연발화 시험기 내부의 공기흐름에 따른 연소특성을 조사하고자 하였으며, 이를 바탕으로 쌀겨분진으로 인해 발생할 수 있는 재해를 예방하기 위한 기초자료로 활용하고자 하였다.

2. 실험방법

2.1. 시료의 준비

본 실험에 사용한 쌀겨분진은 분쇄과정을 거

쳐 50/60, 60/70, 70/80 및 80/100 mesh로 체가름하여 시료로서 사용하였다. 이와 같이 준비된 시료는 110℃로 유지된 건조기(Drying Oven) 속에서 24시간 건조시킨 후 데시케이터(Desiccator)에서 48시간 방냉하여 실험에 사용하였다.

2.2. 비체적의 측정

쌀겨분진의 입도분포별 연소특성에 미치는 비체적의 영향을 살펴보기 위해 5×5×5 cm의 시료용기에 시료를 가볍게 뿌려서 담고, 시료용기를 바닥에 서너번 두드려서 균일하게 채우는 방법으로 Pouring method를 사용하여 쌀겨분진의 비체적을 측정하였다[6].

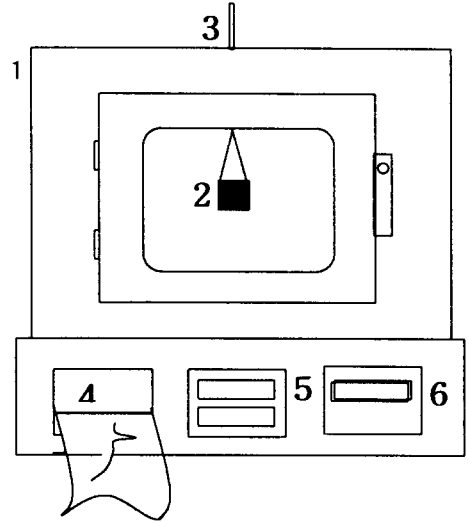
2.3. 연소특성 평가

쌀겨분진의 연소특성을 조사하기 위하여 전기 가열 열풍식 자연발화 시험장치를 이용하여 시료용기(5cm×5cm×5cm)에 각 입도의 시료를 일정량씩 채운 후 자연발화 시험기의 중앙에 위치시킨 후 송풍과 무풍 상태에서 온도를 서서히 승온하면서 시료 내부의 온도 변화를 시료의 중앙에 열전대를 설치하여 측정, 기록계를 통하여 온도의 변화를 기록하였다. 이때 시료내부의 온도가 급격히 상승할 때 혼소(무연연소)와 유연연소 여부를 창을 통해 육안으로 관찰하였다. 본 실험에 사용한 장치는 그림 1과 같다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 시료의 입도분포별 비체적

시료의 입도분포에 따른 비체적이 다르므로 동일한 시료용기를 사용하더라도 열의 축적속도가 달라 연소 시 영향을 미칠 것이다. 따라서 쌀겨분진의 연소특성을 조사하기에 앞서 시료의 입도분포별 비체적을 측정하여 표1에 나타내었다.



- 1. Air heating furnace
- 2. Sample container
- 3. Thermocouple
- 4. Temperature recorder
- 5. Temperature controller
- 6. Power supply

그림 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

표1.에서 보는 바와 같이 시료의 입도가 작아질수록 비체적이 감소함을 볼 수 있으며, 이러한 경향성은 전보[8]에서 연구되었던 천연섬유분진의 결과와 비교할 때 동일한 결과이나, 쌀겨분진의 경우 천연섬유분진에 비해 입도에 따른 비체적의 변화가 크게 나타나지 않는 것을 볼 수 있다. 이러한 차이는 혼소 개시온도에 영향을 미칠 것이며, 천연섬유분진에 비해 입도분포에 따른 혼소 개시온도의 변화가 적을 것으로 판단된다. 한편, 쌀겨분진의 입도가 미세해질수록 비체적의 감소됨으로서 시료 내부에서의 열 축적 능력이 작아져 혼소 개시온도가 다소 높아질 것으로 사료된다.

표 1. Specific Volume according to Size Distribution of Rice Bran.

Size distribution [mesh]	50/60	60/70	70/80	80/100
Specific volume [cm ³ /g]	2.46	2.40	2.32	2.26

3.2. 연소특성 평가

쌀겨분진의 입도와 양이 연소특성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 시료의 입도를 50/60, 60/70, 70/80 및 80/100 mesh로 체가름하여 시료의 양을 1.0, 3.0 및 5.0 g으로 변화시키면서 시료용기에 충전하고, 시험기 내부를 송풍과 무풍상태로 변화시키면서 시간에 따른 시료 내부 온도를 측정하고, 시료내부의 온도가 급격히 상승할 때 혼소(무염연소)와 유염연소 여부를 창을 통해 육안으로 관찰하였다.

먼저 그림. 2는 연소시험기 내부의 공기 흐름에 따른 쌀겨분진의 연소특성을 조사하기 위하여 내부를 송풍과 무풍상태로 변화시키면서 비체적이 가장 큰 50/60 mesh의 입도를 갖는 시료를 1.0 및 3.0g으로 변화시키면 시간에 따른 온도변화를 측정하였다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 송풍이나 무풍 상태 모두 시료의 양이 증가할수록 시료 내부의 온도는 크게 상승하고 있으며, 발열 개시시간이 빨라지고 있다. 또한, 송풍 조건에서 보다 무풍 조건에서 온도 상승폭은 크게 나타나고 있으며, 발열 개시시간이 빨라지는 것을 볼 수 있다. 이는 무풍시 시료내 열의 축적이 용이하기 때문인 것으로 사료된다. 한편, 이러한 발열은 유염연소가 아닌 혼소현상에 의한 것이었으며, 이러한 연소현상은 실험에 사용한 시료의 양이 전부 소모될 때까지 유염연소로 전개되지 않았다.

그림. 3은 자연발화 시험기 내부의 조건을 송풍과 무풍 상태에서 시료의 입도가 쌀겨분진의 연소특성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 시료량을 1.0, 3.0 및 5.0 g으로 변화시키면서 각각의 입도에서 혼소 개시온도를 나타낸 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이 시험기 내부의 조건에 관계없이 발열 개시온도는 약 180℃~210℃ 범위에 있으며, 이는 쌀겨분진의 TGA와 DSC 분석에서 나타난 중량 감소가 발생하는 온도와 거의 일치하는 온도이다[9].

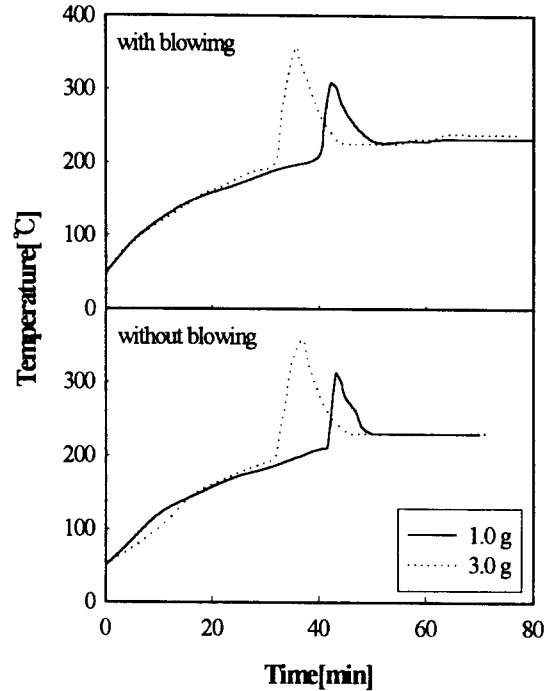


그림 2. Variations of temperature with time.[50/60 mesh]

한편, 시료의 양에 관계없이 입도에 따른 혼소 개시온도의 차이가 크지는 않으나, 입도가 미세해질수록 혼소 개시온도는 다소 증가함을 볼 수 있다. 이러한 경향성은 앞서 표 1에서 보는 바와 같이 입도가 감소함에 따라 비체적의 근소한 감소로 인해 열축적 능력이 감소하기 때문으로 사료된다. 또한 시료량이 증가함에 따라 혼소 개시온도가 다소 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 시료의 양이 증가함에 따라 분해되는 양이 증가하기 때문에 혼소 개시온도가 감소하는 것으로 사료되며, 전보[9]의 결과와도 일치하고 있다. 한편, 입도나 시료의 양이 동일한 조건에서는 송풍시보다 무풍시 약간 낮은 혼소 개시온도를 나타내고 있으며, 이는 대기의 흐름이 없는 무풍 상태에서 시료 내부에 열 축적이 보다 용이하기 때문인 것으로 사료된다.

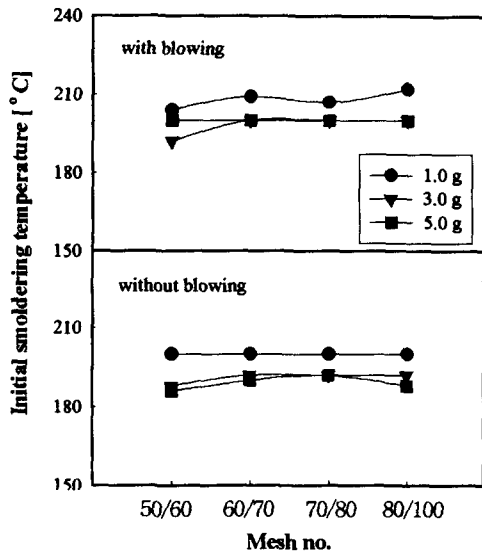


그림 3. The changes of initial smoldering temperature according to size distribution.

쌀겨분진의 입도별 시료의 양을 1.0, 3.0 및 5.0 g으로 변화시키면서 시료용기에 충전하고, 시험기 내부를 송풍과 무풍상태로 변화시키면서 시료의 입도분포별 훈소시 시료의 내부온도 변화량을 그림 4에 나타내었다. 그림 4에서 보는 바와 같이 시험기 내부 조건인 송풍·무풍 상태에 관계없이 시료의 양이 증가할수록 훈소시 시료 내부의 훈소 개시온도에서 최고온도까지의 온도차가 크게 발생하는 것을 볼 수 있다. 또한 시료의 양에 관계없이 입도가 미세할수록 훈소시 시료 내부의 온도차는 크게 상승하다가 70/80 mesh의 입도에서 최대 값을 보이고 80/100 mesh의 입도에서 다소 감소하는 형태를 보이고 있다. 이러한 경향성은 앞서 제시한 표 1에서와 같이 입도에 따른 비체적의 값에 별 차이가 없는 것으로 보아 대기와의 접촉이나 열의 축적속도에는 입도에 따라 큰 차이가 없을 것으로 보이며, 쌀겨분진의 입도 분포에 따른 시차주사 열량계(DSC) 분석에 의한 결과 즉, 쌀겨분진의 입도 분포에 따른 발열 개시온도는 비슷하나, 입도가 미세해질수록 분

해율의 증가로 인한 발열량이 증가하는 결과와 일치하고 있다[9]. 한편, 지나치게 입도가 미세해지는 80/100 mesh의 경우 간극이 좁혀져 본 실험조건에서는 송풍, 무풍 모두의 경우에 있어 시료 깊숙이 열이 침투하지 못하기 때문인 것으로 이는 시간이 좀 더 주어질 경우 온도차가 더 크게 나타남을 예측해 볼 수 있을 것으로 사료된다. 또한 시료의 양이나 시료의 입도 분포에 관계없이 시험기 내부 조건이 송풍시 보다 무풍시 발열에 따른 온도 상승폭이 크게 나타남을 알 수 있다. 이는 앞서 언급한 바와 같이 무풍시 시료내 열의 축적이 용이하기 때문이다.

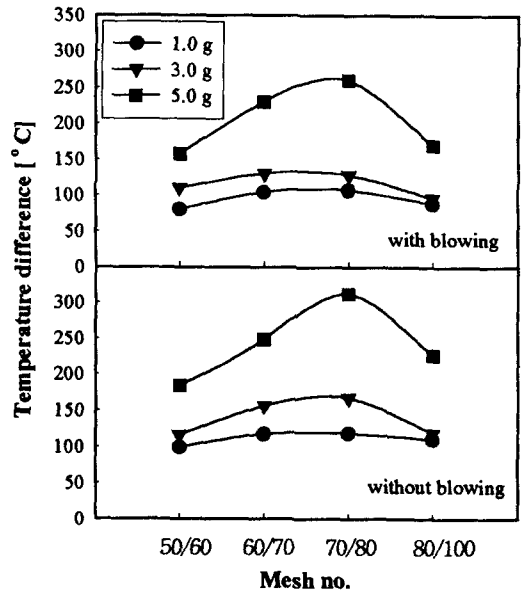


그림 4. Temperature difference according to size distribution.

4. 결론

이상과 같은 쌀겨분진의 연소특성에 관한 실험 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 쌀겨분진의 연소에 따른 발열개시온도는 약 180℃~210℃ 범위에 있으며, 시료의 입도에 따른 혼소 개시온도의 차이가 크지는 않으나, 시료량이 증가함에 따라 혼소 개시온도가 다소 감소하며, 연소상태는 모두 혼소 상태를 보이고 있다.
- (2) 시료의 양이 증가할수록 혼소시 시료 내부의 혼소 개시온도에서 최고온도까지의 온도차가 크게 발생하는 것을 볼 수 있으며, 시료의 입도가 미세할수록 혼소시 시료 내부의 온도차는 다소 증가하는 형태를 보이고 있다. 또한, 자연발화 시험기 내부가 송풍상태일 때 보다 무풍상태로 실험하였을 경우 혼소 개시시간이 다소 빨라지고 있으며, 발열온도도 크게 나타났다.

5. 감사

본 연구는 (주)신화방재의 연구비 지원에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. '97화재통계연보, 행정자치부, p21 (1998)
2. 安全工學會, 安全工學講座 2 爆發, 海文堂, 日本 (1983)
3. 이수경외 1인, 화공안전공학, 동화기술, p98 (1995)
4. 이지섭, 분진폭발에 대한 소고, 방재기술 19호, 한국화재보험협회, p29 (1992)
5. 정국삼외 1인, 화학안전공학, 신평문화사, p163 (1994)
6. 최정화, 셀룰로오스의 혼소연소에 관한 연구, 소방논집 7, 중앙소방학교, p249 (1997)
7. 김홍 외1인, 봉산-봉사-Aluminium Sulfate 계 셀룰로오스 단열재의 연소특성, 산업안전학회지, 7(4), p7(1992).
8. 이창우, 김정환, 현성호, 천연섬유분진의 연소특성에 관한 연구, 한국화재소방학회, 화재·소방, 13(1), p 3(1999)
9. 김정환, 김현우, 백동현, 현성호, 점화에너지의 변화에 따른 쌀겨분진의 폭발 거동에 관한 연구, 한국화재소방학회, 화재·소방, 심사중