

전분 분말의 연소특성에 관한 연구 A Study on Combustion Characteristics of Starch

김정환[†] · 현성호* · 이창우**

Jung Hwan Kim[†] · Seong Ho Hyun* · Chang Woo Lee**

강원대학교 신소재공학과
*경민대학 소방안전관리과
**서울시립대학교 지진방재연구소
(2001. 01. 13 접수/2001. 01. 26 채택)

요 약

전분 분말의 온도에 따른 열적 안정성을 조사하기 위하여 시차주사열량계(DSC, Differential Scanning Calorimeter) 및 열중량 분석기(TGA, Thermogravimetric Analysis)를 이용하여 온도에 따른 발열개시 온도, 발열량등을 조사하였으며, 자연발화 시험기를 이용하여 시료량에 따른 전분 분말의 연소특성을 시간에 따른 온도의 변화를 측정하여 연소개시시간 및 연소시 상승하는 온도를 측정함과 동시에 육안으로 연소특성을 조사하고자 하였다. 한편 자연발화 시험기 내부의 공기흐름에 따른 연소특성을 조사하기 위하여 송풍과 무풍 상태에서의 연소특성을 조사하고자 하였다. 전분 분말의 열분석 결과 승온속도가 증가할수록 발열개시온도가 저온부로 이동하고 있으며, 발열량도 크게 증가하였다. 또한, 자연발화 실험결과 전분의 양이 증가할수록 훈소 개시온도가 낮아지고, 연소형태는 모두 훈소였다. 자연발화 시험기 내부가 송풍상태일 때 보다 무풍상태로 실험하였을 경우 훈소 개시시간이 다소 빨라지고 있으며, 발열최고온도도 크게 나타났다.

ABSTRACT

We had investigated combustion properties of starch. Decomposition of starch scavenged by precipitator of spinning factory with temperature were investigated using DSC and TGA. Combustion properties of starch according to amount were checked as temperature variation according to time using spontaneous ignition apparatus. Moreover, combustion properties with blowing or without blowing condition were checked in spontaneous ignition apparatus. As results of thermal analyses, increase in raising temperature causes initial smoldering temperature to move towards low temperature section. In addition, as amount of starch was increased, initial smoldering temperature was lowered. All of combustion forms were smoldering combustion. Initial smoldering temperature was low more slightly with blowing condition than without blowing condition in spontaneous ignition apparatus, which condition made heating value high.

Keywords : Starch, Differential scanning calorimeter, Combustion property, Spontaneous ignition apparatus, smoldering temperature, blowing condition, Smoldering combustion

1. 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.

가연성 액체와 기체의 경우 가연성 가스 또는 가연성 액체의 증기가 공기와 혼합하여 불꽃, 불티, 전기스파크 등의 점화원에 의해 인화됨으로서 대형화재로 전개된다. 따라서 액체의 경우에는 융점, 비점, 인화점 등이 위험도의 척도이며, 특히 인화점이 가연성 액체의 위험도를 측정하는 가장 중요한 척도라 할 수 있다.¹⁾ 반면, 가연성 기체나 증기의 경우에는 공기나 산소 등의 지연성 기체와 혼합하여 혼합 기체의 조성이 일정한 농도 범위에 있는 경우에만 외부점화원에 의해 점

[†] E-mail: kjh6749@hanmail.net

화되면 화염이 전파하고 기체폭발을 일으키는데 이러한 혼합기체의 조성을 연소범위라 하며 이것은 가연성 기체의 위험성의 기본 척도이다.²⁾ 따라서 가연성 액체나 기체 단독의 위험성은 인화점이나 연소범위 등과 같은 물리적인 측정치로부터 쉽게 예측할 수 있다.

그러나 고체 형태의 가연성 물질의 경우에는 입자의 크기, 입도 분포, 분해온도, 입자의 형태, 화학 조성, 가연성액체나 기체와의 혼합 등 여러가지 복잡한 변수에 의해 연소 위험성이 변화한다.^{2,3)} 특히, 고체 입자의 크기가 500 μm 이하인 경우를 분진이라 하며, 이러한 분진은 입자의 크기가 미세하여 비표면적이 크기 때문에 외부의 열원에 의해 표면에서 쉽게 열분해가 일어나며, 이러한 열분해로 생성되는 가연성 기체 성분은 쉽게 산소 증으로 확산하므로 기체 연소와 같은 위험성을 갖는다.

특히 유기물이 주성분을 이루고 있는 전분과 같은 농산물은 분쇄공정에서 발생하는 미분에 의한 분진폭발의 위험이나 공기 중에서 산화하고 그 산화열이 축적되어 자연발화를 일으킬 수 있으며, 열전도도가 매우 작은 경우 열교환기나 모터와 같은 가열된 구조물 위에 퇴적되어 열의 축적에 의해 유염 연소를 일으키거나 훈소가 발생할 수 있는 위험성도 내포하게 된다. 이러한 훈소는 가열에 의해 표면 산화반응으로 유기물이 주성분인 분체가 다량의 연기와 유독가스를 방출하나 화염은 발생하지 않고 연소하는 현상을 의미한다. 훈소 현상은 화염을 발생하는 유염 연소에 비해 온도는 낮을지라도 불완전 연소에 의해 유독성물질을 발생하며 유염연소의 개시에 커다란 영향을 미치기 때문에 대단히 위험하다.⁴⁾ 그러나 국내에서는 셀룰로오스 단열재 등에 관한 연소특성에 대한 연구와 그밖의 단열재에 대한 연소특성 및 훈소에 관한 연구^{5,6)}는 많이 진행되고 있으나 농산물과 같은 자연발화나 훈소 위험성이 있는 분진등에 관한 연구는 거의 수행된 적이 없다.

따라서 본 연구에서는 전분의 위험성을 조사하고자 하였다. 전분의 온도에 따른 열적 안정성을 조사하기 위하여 시차주사열량계(DSC) 및 열중량 분석기(TGA)를 이용하여 온도에 따른 발열개시온도, 발열량 및 분해율등을 조사하였으며, 자연발화 시험기를 이용하여 시료량에 따른 전분의 연소특성을 시간에 따른 온도의 변화를 측정하여 연소개시시간 및 연소시 상승하는 온도를 측정함과 동시에 육안으로 연소특성을 조사하고자 하였다. 한편 자연발화 시험기 내부의 공기흐름에 따른 연소특성을 조사하기 위하여 송풍과 무풍 상태에서의 연소특성을 조사하고자 하였으며 이를 바탕으로 전분으로 인해 발생할 수 있는 재해를 예방하기 위한

기초자료로 활용하고자 하였다.

2. 실험방법

2.1 시료의 준비

본 실험에서 시료는 전분을 분쇄과정을 거치지 않고 그대로 사용하였다. 이와 같이 준비된 시료는 110°C로 유지된 건조기(Drying Oven) 속에서 2시간 건조시킨 후 데시케이터(Desiccator)에서 48시간 방냉하여 실험에 사용하였다.

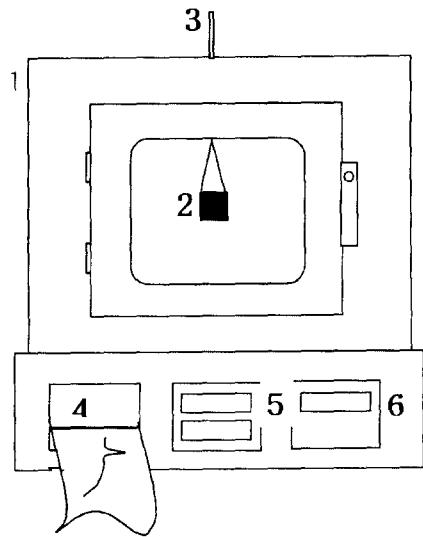
2.2 특성 평가

2.2.1 열적 위험성 평가

본 실험에서 사용한 전분의 열적 안전성 평가를 위해 시차주사 열량계(Differential Scanning Calorimeter, DSC) [Model: DSC 2910, TA Instruments, U.S.A.]를 이용하여 발열개시온도, 발열최고온도, 발열종료온도 및 발열량 등을 측정하였다. 이 때 승온속도에 의한 영향을 고찰하였고, 시료의 열분해 위험성을 평가하기 위하여 열중량 분석기(Thermogravimetry Analysis, TGA) [Model: STD 2960, TA Instruments, U.S.A.]를 이용하여 분해개시온도 및 무게감량을 측정하였다.

2.2.2 연소특성 평가

본 연구에서 사용한 전분의 연소특성을 조사하기 위



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

그림 1. 자연발화 시험 장치

하여 자연발화 시험기를 이용하여 온도를 변화시키면서 시료양에 따른 전분의 연소특성을 조사하였으며 실험에 사용한 장치도를 그림 1에 나타내었다.

먼저 시료용기(5 cm×5 cm×5 cm)에 시료를 일정량 채운 후 전기 가열 열풍식 자연발화 시험기의 중앙에 위치시킨 후 송풍과 무풍 상태에서 온도를 서서히 승온하면서 전분 내부의 온도 변화를 열전대를 이용하여 측정, 기록계를 통하여 온도의 변화를 기록하였다. 이때 시료내부의 온도가 급격히 상승할 때 혼소(무염연소)와 유염연소 여부를 창을 통해 육안으로 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 열분해 특성 평가

3.1.1 시차주사 열량계에 의한 열분해 특성

승온속도에 따른 열적 안전성을 조사하기 위하여 전분을 시료로하여 분위기 가스인 Air를 60 ml/min의 속도로 주입하면서 승온속도를 5°C/min, 10°C/min 및 20°C/min로 변화시키면서 DSC 분석을 실시하였으며, 그 결과를 그림 2에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 승온속도가 증가할수록 발열개시온도가 저온부로 이동하고 있으며, 발열량 또한 증가하고 있다. 따라서 승온속도가 증가할수록 전분의 분해 위험성이 증가하며 이는 일반적인 가연성 물질의 위험성 평가 결과와 동일한 결과를 나타내고 있다. 한편, 분위기를 Air로 사용하여 DSC를 측정 한 이유로는 전분을 취급하는 장소가 대기 중이기 때문이며, 일반적으로 모든 가연

물질은 불활성 기체인 Ar을 사용하는 경우보다 조연성 기체를 포함하는 Air를 사용하는 경우 발열개시온도가 낮아지고, 발열량도 크게 증가한다고 할 수 있다. 이는 분위기 기체로 조연성 기체를 사용하는 경우 가연성 분진의 산화 분해를 촉진하여 그 위험성이 매우 증가하는 것으로 볼 수 있다.

3.1.2 열중량분석기에 의한 열 특성

그림 3은 온도에 따른 시료의 열분해 특성을 조사하기 위하여 시료를 승온속도 10°C/min, 분위기기체를 Air, 60 ml/min의 속도로 흘려보냈을 때 분해개시온도나 분해곡선에 미치는 영향을 TGA분석한 결과이다. 그림에서 보는바와 같이 100°C 부근에서 약 15% 정도의 수분감량을 볼 수 있으며, 300°C 전·후에서 시료의 60% 정도가 분해되어 무게감량이 발생하는 것을 볼 수 있다. 또한 300~500°C 사이에서 2차 분해가 일어나 시료의 대부분이 분해되는 것을 볼 수 있다. 이는 그림 2에 나타낸 전분의 DSC 분석 결과와 일치하고 있음을 알 수 있다.

3.2 연소특성

전분의 연소 특성을 조사하기 위해 시료용기(5 cm×5 cm×5 cm)에 시료를 일정량씩 채운 후 전기 가열 열풍식 자연발화 시험기의 중앙에 위치시킨 후 송풍과 무풍 상태에서 최고온도를 350°C로 설정하여 온도를 서서히 승온하면서 전분 내부의 온도 변화를 열전대를 이용하여 측정, 기록계를 통하여 시간에 따른 온도변화를 기록하였으며, 이때 시료내부의 온도가 급격히 상

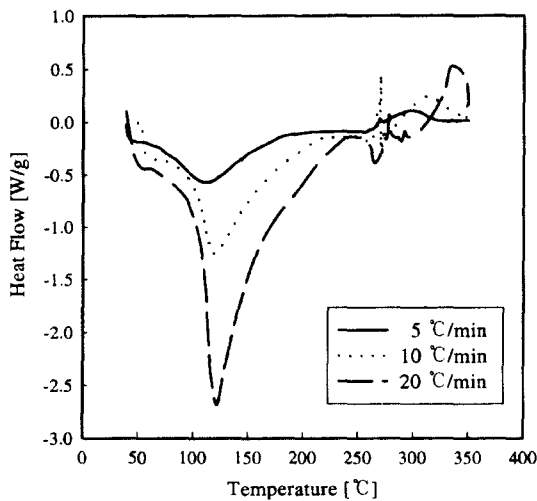


그림 2. 승온속도에 따른 전분 분말의 DSC 곡선(분위기 기체: Air)

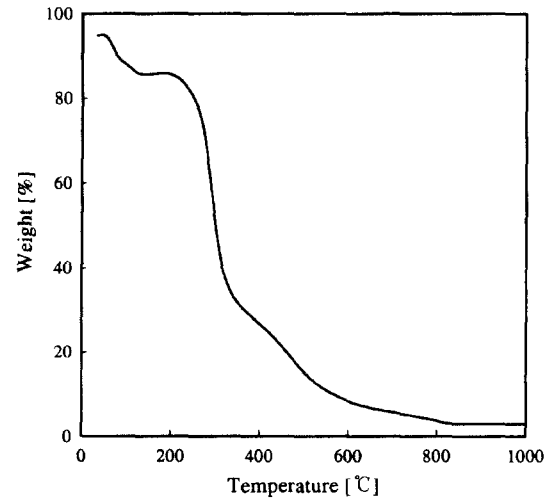


그림 3. 전분 분말의 TGA 곡선(승온속도: 10°C/min, 분위기 기체: Air)

승할 때 혼소(무염연소)와 유염연소 여부를 창을 통해 육안으로 관찰하였다. 그림 4는 대표적으로 전분 시료 3g을 시료용기에 충전하고 송풍 및 무풍시 시간에 따른 연소특성을 조사한 결과를 도시하였다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 송풍시 보다 무풍시 혼소 개시온도가 빨라지고 있으며, 발열에 따른 화염의 최고온도 및 온도 상승폭이 크게 나타남을 알 수 있다. 이러한 경향성은 무풍시 시료 내부의 열 축적이 용이하기 때문이다. 또한 전분의 연소 형태는 모두 불꽃이 발생되지 않는 무염연소 형태로 혼소임을 관찰할 수 있었다.

전분의 양에 따른 연소특성을 조사하기 위하여 시료의 양을 1.0, 3.0 및 5.0g으로 변화시키면서 시료용기

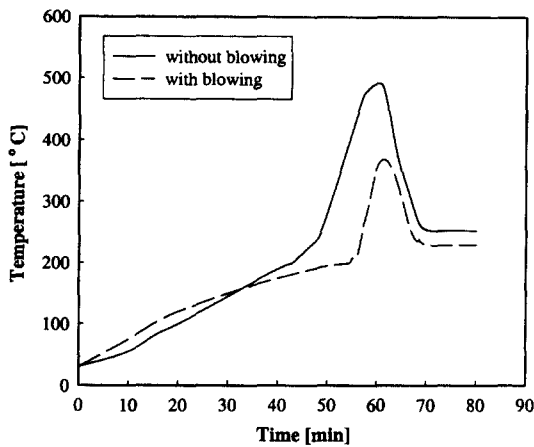


그림 4. 전분의 시간에 따른 온도상승곡선(sample weight = 3 g)

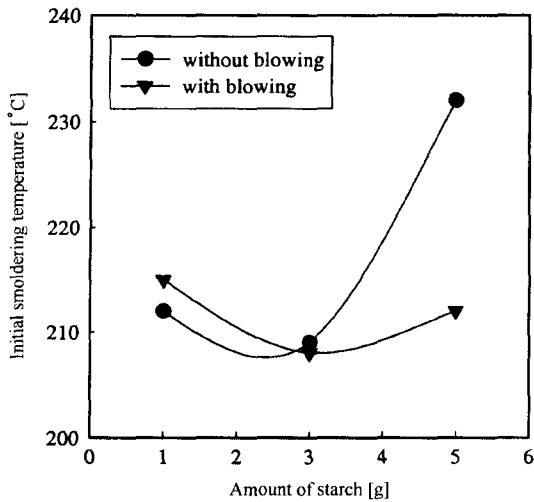


그림 5. 전분의 양에 따른 혼소 개시온도

에 충전하고, 시험기 내부를 송풍과 무풍상태로 변화시키면서 시간에 따른 혼소 개시온도를 측정하여 그 결과를 그림 5에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 실험조건인 송풍 및 무풍상태에 관계없이 시료의 양이 3g일 때 혼소 개시온도가 낮아짐을 볼 수 있으며, 이는 시료의 양이 증가함에 따라 분해되는 양이 증가하기 때문에 보다 낮은 온도에서 발열 peak가 발생하는 것으로 사료된다. 그러나, 무풍시 시료의 양이 5g으로 늘어남에 따라 혼소 개시온도가 다시 높아짐을 볼 수 있다. 이는 앞서 그림 4에서 본 바와 같이 시료의 양이 늘어남에 따라 분해가 느리고 외부에서의 승온속도가 있으므로 혼소가 발생하는 시간의 지연으로 인해 혼소개시온도가 약 20°C 정도 높게 나타나는 것으로 사료된다.

전분의 양을 1.0, 3.0 및 5.0g으로 변화시키면서 시료용기에 충전하고, 시험기 내부를 송풍과 무풍상태로 변화시키면서 발열시 시료의 내부온도 변화량을 그림 6에 나타내었다. 그림 6에서 보는 바와 같이 송풍·무풍 상태에 관계없이 시료의 양이 증가할수록 혼소 개시온도부터 발열에 따른 최고온도 사이의 온도차가 크게 발생하는 것을 볼 수 있으며, 시료의 양에 관계없이 송풍시에 비해 무풍시의 온도차가 약 2배정도 크게 나타나고 있다. 이러한 이유는 앞서 설명한 바와 같이 무풍상태에 있을 때 시료의 열 축적이 원활하여 발열량이 크게 나타나는 것이다. 한편, 송풍상태라 하더라도 전분이 혼소되면서 발열량이 매우 크게 나타나므로 화재로의 전이가 빨리 발생할 것으로 사료되며, 그 위험성이 크다고 할 수 있다.

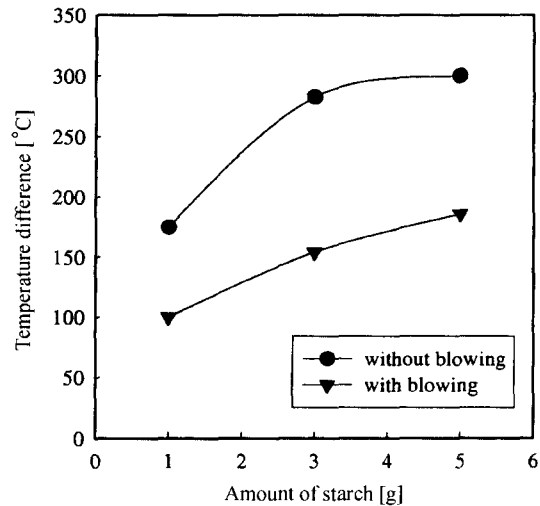


그림 6. 전분의 양에 따른 혼소시 온도차

4. 결 론

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

1. 열분석 결과 승온속도가 증가할수록 발열개시온도가 저온부로 이동하고 있으며, 발열량도 크게 증가하였다.
2. 자연발화 실험결과 전분의 양이 증가할수록 혼소 개시온도가 낮아지고, 연소형태는 모두 혼소였다.
3. 자연발화 시험기 내부가 송풍상태일 때 보다 무풍상태로 실험하였을 경우 혼소 개시시간이 다소 빨라지고 있으며, 발열최고온도도 크게 나타났다.

감사의 글

본 연구는 (주)신화방재의 연구비 지원에 의하여 연

구되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 오백균, 위험물질론, 신광문화사(1998).
2. 김 홍, 신창섭, 인세진, 추병길, 방폭공학, 동화기술(1994).
3. 이수경, 하동명, 화공안전공학, 동화기술(1997).
4. 현성호, 차상은, 차상구, 이창우, 김정환, 위험물 화학, 동화기술(1999).
5. 최정화, 셀룰로오스의 혼소에 관한 연구, 소방논집 7호(1997).
6. 김 홍, 인세진, 봉산-봉사-Aluminium Sulfate계 셀룰로오스 단열재의 연소특성, 산업안전학회지, Vol. 7, No. 4(1992).