밀가루분진 및 살리실산분진의 폭발하한농도 및 열적특성 비교에 관한 연구

고재선

호원대학교 소방행정학과

A Study on the Comparison of Explosive Lower Limit Concentration & Thermal Specific of Wheat Powder Dust & Salicylic Acid Dust

Jae-Sun Ko

Dept. of Fire Service Administration, Howon Univ.

(Received May 8, 2012; Revised August 9, 2012; Accepted August 13, 2012)

요 약

본 연구에서는 중소기업형의 밀가루 제조과정 및 각질제거용 기능성 비누를 생산하는 화장품 제조과정에서의 분진들을 채집하여 폭발 및 열적특성을 비교하기 위해 실험을 수행하였다. 폭발실험은 Hartman식 분진폭발장치를 이용하였고, 열적실험은 DSC 및 TGA를 이용하여 활석첨가시 농도의 변화에 따른 폭발압력 및 폭발하한계와 온도에 따른 무게감량과 흡열량을 측정하였다. 폭발실험결과 두 시료 모두 활석분진의 비율이 증가할수록 폭발하한농도가 증가하는 것을 볼 수 있었고, 폭발압력은 감소됨을 확인하였다. 그리고 DSC 실험결과 활석의 첨가량이 증가할수록 열유속은 감소하고 온도 또한 약간의 감소상태인 것으로 분석되었다. 또한 두 시료 모두 승온 속도가 증가 할수록 흡열개시온도가 낮은 온도 부분으로 이동하고 있으며, 흡열량도 크게 증가하였다. 아울러 TGA 실험결과 활석의 양이 증가할수록 전체 무게감량이 줄어드는 것으로 나타났다. 향후 분진폭발메커니즘의 지속적 연구와 보완이 효과적인 분진폭발예방 대책수립에 기여할 것으로 기대된다.

ABSTRACT

We have examined In order to compare each other from explosion and combustion characteristics about the dusts which collects from manufacturing process of wheat flour and cosmetics manufacturing process of functional Keratin removal soap at the small and medium enterprise style. We measured explosive pressure and explosive lower limit which follows in change of concentration change at the time of talc addition uses Hartman dust explosion apparatus, also measured weight loss and endothermic quantity uses DSC and TGA. The explosion test results show that increased explosive lower limit concentration and explosive pressure decreased by the increased ratio of the talc dust. And the DSC results show that heat flux and temperature decreased by the increased ratio of the talc dust. Also increased in raising temperature causes initial smoldering temperature to move towards low temperature section and the endothermic quantity increased on a large scale. Together the TGA results show that weight loss decreased by the increased ratio of the talc dust. From this research we have assured the successive dust explosion mechanism study will play a key role as a significant safety securing guideline against the dust explosion.

Keywords : Dust explosion, Explosive lower limit concentration, Explosion pressure, Raising temperature, Weight loss, Heat flux

1. 서 론

공업의 발달과 함께 고분자물질의 취급이 급격히 증가하고 있으며, 이러한 최종 고분자생산품은 중간단계인 분체의 형태로 각 공정에서 사용되는 예가 많다. 현재 고분자물질이나 화학약품, 염료 등 화학적인 공정에 의해 만들어진 미세 가루인 분체물질들은 금속이나 곡물분진에 비하여 최소점화에너지나 폭발하한농도가 매우 적고 폭발

위력이 상대적으로 크기 때문에 위험성이 상대적으로 높다⁽¹⁻³⁾. 따라서 여러 종류의 분진 폭발에 대하여 외국의 여러 나라에서는 오래전부터 분진폭발에 관한 연구를 수행해 왔고, 또 분진의 폭발위험성을 방지하기 위한 제도적인 규제조치와 분진의 시험방법도 규격화되어 있다. 국내에서도 분진 폭발의 위험성을 인식하여 각 대학이나 산업안전 관련 분야에서 연구가 확산되고 있다. 최근의 국내에서 발생한 부산 실내사격장 화재폭발사고도 잠정적으로 화약분

진에 의한 역화(Back Draft) 및 폭발사고로 귀결되고 있어 앞으로 다양한 종류의 분진폭발에 대한 연구 및 폭발메커니즘에 관심이 그 어느 때보다 부각되고 있다. 따라서 본 연구는 중소기업형의 밀가루제분공장 및 기능성비누제조공장(각질제거용 비누제조공장)에서 채집한 분진인 밀가루분진(Wheat Flour Dust) 및 살리실산분진(Salicylic Acid Dust) 2종에 대하여 폭발 및 열적특성의 변화를 살펴보기 위하여 Hartman식 분진폭발장치와 DSC(Differential Scanning Calorimeter), TGA(Thermogravimetric Analysis)를 이용하여 불활성분진인 활석(Talcum)을 혼합함으로써 변화되는 폭발하한계 및 열적 특성인 흡열량의 변화를 살펴보기 위해 실험을 수행하였다. 향후 이러한 각종분진의 폭발위험성을 평가하고 측정하는 기술적인 방법을 고찰하므로써 분진폭발연구는 물론 분체를 취급하는 공정이나 관련 산업에 있어서의 기초자료축적, 분진폭발방지 및 방호대책으로 활용될 수 있을 것이다.

2. 분진폭발 및 열적 특성평가 실험

2.1 실험장치

본 논문에서는 폭발유무, 폭발하한농도 및 최대폭발상승압력측정을 위해 Figure 1과 같이 Hartman식 분진폭발장치(TA instruments-US-모델명: DET 01)를 이용하여 실험하였다⁽⁴⁾. 또한 시료의 열적 안정성평가를 위하여 시차주사열량계(D S C, TA instruments-US-모델명: DSC Q10) 및 열중량분석기(TGA, TA instruments-US-모델명: SDT Q600)를 이용하여 온도에 따른 흡열량 및 무게감량 등의 변화를 측정하였다.

Figure 1의 Hartman식 분진폭발장치의 세부 명칭은 다음과 같다. 1. Locking ring 2. 점화전극 Holder 3. 점화전극 4. 폭발통 5. 분진컵 6. Solenoid 밸브 7. 공기저장탱크 8. 전원 Switch 9. Volt Meter 10. Ampere Meter 11. Stop Button 12. Start Button 13. T_1 , 분사시간 설정 Timer 14. T_2 분사가스 유동성 안정시간 Timer 15. T_3 Arc 시간설정 Timer 16. 슬라이더스 17. 제어판 패널 18. 공기 흡입구

Figure 1. Experimental apparatus for dust explosion.

19. 공기배출구이다.

2.2 실험방법

본 실험에 사용된 시료인 밀가루분진 및 살리실산분진은 밀가루 제분공장 및 각질 제거용 비누제조현장에서 채취한 것으로 입도분석기(Laser Particle Size Analyzer, Otsuka electronics, Japan, LPA-3000)에 의해 입도를 분석한 결과 2종 모두 140 mesh($100\ \mu\text{m}$) 이하였다. 이와 같이 준비된 시료는 건조 오븐 속에서 110°C 로 건조시킨 후 제습기에서 36시간 방냉시킨 후 실험에 사용하였다. 분진폭발에 대한 불활성 분진의 영향을 알아보기 위해 불활성분진인 200 mesh($74\ \mu\text{m}$) 이하의 활석가루(Talcum)를 사용하였고 균일한 혼합을 위하여 시료통에 넣고 혼든 후 다시 체질화한 것을 밀가루 분진 및 살리실산의 분진에 혼합한 후 폭발유무(확률계산) 및 폭발하한농도, 폭발압력을 측정하였다. 실험대상 가연성분진 2종인 밀가루분진 및 살리실산분진에 대해 각각 기본적으로 0.1 g의 중량비로 하여 0~50 %까지 활석을 첨가하면서 실험하였다. 먼저 폭발유무 판정은 투명한 폴리아크릴의 폭발통을 통해 육안으로 화염을 확인한 것과 폭발음을 내며 실린더 상판의 다이어프램을 파괴시킬 때 그리고 오실로스코프에 기록된 압력파의 생성여부에 따라 판정하였으며, 불활성분진인 활석의 혼합비를 50 %까지 10 %로씩 증가시키므로써 그에 따른 농도의 변화에 대한 폭발확률을 계산하였다. 다음으로 폭발압력이나 압력상승속도를 측정할 때는 다이어프램으로 폭발통을 밀폐시키고 통의 상부에 압력변환기를 부착하여 압력을 측정하였다. 폭발당시의 압력을 측정하기 위해 폭발압력 센서로부터 오실로스코프로 나타난 파형을 Wave Star(ver.1.0) Program으로 폭발당시의 압력을 반복 실험하여 기록하였다. 이렇게 반복된 실험을 통해 얻어진 폭발압력데이터를 가지고 최소자승법(Least Square Method)에 의해 활석의 첨가비율에 따른 폭발압력의 평균치를 계산하였다. 실험시 공기의 압력은 0.17 MPa, 솔레노이드 밸브의 열림시간은 0.1초, 착화지연시간은 0초, 분진의 점화원으로는 직류고전압 7 kv를 사용하였고, 이때의 점화에너지는 600 mJ이었다. 열적 안정성평가를 위해 시차주사열량계(DSC, Differential Scanning Calorimeter)를 이용하여 분해개시온도, 분해최고온도, 분해종료온도, 흡열량, 열유속을 측정하였고, 이때 시료의 활석첨가에 따른 영향을 고찰하였다. 또한 열중량분석기(TGA, Thermogravimetric analysis)를 이용하여 활석 첨가시 농도의 변화에 따른 무게감량을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 폭발 실험결과

Table 1은 밀가루분진에 대해 불활성분진인 활석가루(Talcum)를 0 %, 10 %, 30 %, 50 %씩 첨가하면서 폭발의

Table 1. Results of Explosion Confirmation and Explosion Lower Limit Concentration when the Talc Quantity Extends in Wheat Powder Dust

Talcum	Wheat powder		Experimental number of times	Explosion	Non explosion	Probability (%)
	W (g)	C (g/L)				
0 % addition	0.1	0.095	10	8	2	80
	0.05	0.047	10	7	3	70
	0.01	9.52 E-3	10	6	4	60
30 % addition	0.1	0.666	10	6	4	60
	0.05	0.333	10	3	7	30
	0.01	6.66 E-3	10	0	10	0
50 % addition	0.1	0.047	10	1	9	10
	0.05	0.023	10	0	10	0
	0.01	4.76 E-3	10	0	10	0

Table 2. Results of Explosion Confirmation and Explosion Lower Limit Concentration when the Talc Quantity Extends in Salicylic Acid Dust

Talcum	Salicylic Acid Dust		Experimental number of times	Explosion	Non explosion	Probability (%)
	W (g)	C (g/L)				
0 % addition	0.1	0.095	10	10	0	100
	0.05	0.047	10	8	2	80
	0.01	9.52 E-3	10	8	2	80
30 % addition	0.1	0.666	10	7	3	70
	0.05	0.333	10	5	5	50
	0.01	6.66 E-3	10	4	6	40
50 % addition	0.1	0.047	10	5	5	50
	0.05	0.023	10	1	9	10
	0.01	4.76 E-3	10	0	10	0

유무를 판정한 결과이다. 본래의 밀가루 분진 즉 활석이 0 %시에는 폭발유무판정에서 60~80 %의 폭발기록을 나타냈으나 활석의 양을 40~50 %로 증가시키자 폭발이 30~10 %로 급격히 감소하는 것으로 나타났으며, 활석의 혼합비율에 따른 밀가루분진의 농도변화에 따른 평균폭발확률은 39.44 %로 나타났다.

살리실산분진의 경우는 Table 2에 나타난 것처럼 활석의 첨가가 없을 경우에는 80~100 %의 폭발을 하는 것으로 나타났으며 활석의 양을 10 %씩 증가하며 실험을 해본 결과 밀가루분진의 경우처럼 급격한 폭발감소 현상이 없는 것으로 나타났다. 살리실산 분진의 경우 활석의 혼합비율에 따른 농도변화시 평균폭발확률은 56.66 %로 나타났다. 따라서 밀가루 분진과 살리실산 분진의 폭발확률비율

은 가연성이 보다 큰 살리실산 분진의 경우가 폭발 가능성이 더 있음을 알 수 있었다. 또한 Table 1, 2는 본 실험의 대상 시료인 밀가루분진 및 살리실산분진에 대하여 활석 가루를 혼합하여 폭발하한농도를 측정된 결과이다. 살펴보면 활석분진의 비율이 증가할수록 폭발하한농도가 증가하는 것을 볼 수 있고, 최초로 폭발이 일어나지 않는 농도를 찾으면 밀가루 분진인 경우에 중량이 0.01 g으로 감소시 활석비율 30 %에서, 살리실산의 경우는 중량이 0.01 g으로 감소시 활석첨가율이 50 %에서 폭발하한농도가 각각 6.66E-3 g/L과 4.76E-3 g/L로 계산되었다. 이러한 결과를 분석해 보면 밀가루 및 살리실산분진 모두 활석의 첨가량이 증가할수록 폭발하한농도가 증가하는 결과로 보아서 첨가되는 활석의 양이 폭발하한농도를 증가시키는 결과를

Table 3. Results of Explosion Pressure Measurement Values of Wheat Powder Dust when the Talc Quantity Extends

Max. Rate of Explosion Pressure (MPa)					
%	0 %	10 %	20 %	30 %	40 %
1	0.508	0.295	0.024	0.030	0.014
2	0.508	0.508	0.022	0.016	0.020
3	0.022	0.094	0.016	0.018	0.014
4	0.022	0.048	0.020	0.020	0.016
5	0.020	0.508	0.026	0.244	0.016
6	0.158	0.108	0.020	0.014	0.020
7	0.016	0.508	0.022	0.014	0.018
8	0.398	0.036	0.018	0.014	0.014
9	0.508	0.022	0.018	0.018	0.014
10	0.508	0.082	0.316	0.014	0.016
Avg	0.2242	0.2635	0.0502	0.0402	0.0162

Table 4. Results of Explosion Pressure Measurement Values of Salicylic Acid Dust when the Talc Quantity Extends

Max. Rate of Explosion Pressure (MPa)					
%	0 %	10 %	20 %	30 %	40 %
1	0.228	0.384	0.128	0.410	0.258
2	0.528	0.360	0.232	0.022	0.102
3	0.788	0.436	0.228	0.136	0.188
4	0.412	0.188	0.448	0.268	0.226
5	0.808	0.407	0.418	0.426	0.068
Avg	0.5528	0.3550	0.2908	0.2524	0.1684

초래하는 것으로 분석되었고, 밀가루분진보다는 살리실산 분진의 폭발하한농도가 높음을 알 수 있었다.

Table 3과 4는 대상시료 2종에 대한 활석 혼합분진의 농도에 따른 최대폭발압력을 측정된 결과를 나타낸 것이다. 밀가루 분진인 경우에 최대폭발압력은 불활성분진의 첨가에 따라 평균 0 %시 0.22 MPa, 10 %시 0.26 MPa, 20 %시 0.05 MPa, 30 %시 0.04 MPa, 40 %시 0.01 MPa 나타났다. 또한 살리실산의 경우는 평균 0 %시 0.55 MPa, 10 %시 0.35 MPa, 20 %시 0.29 MPa, 30 %시 0.25 MPa, 40 %시 0.16 MPa 나타났다.

이러한 결과를 분석해 보면 Table 3에서와 같이 밀가루 분진인 경우 폭발하한농도와 마찬가지로 활석의 양이 많아질수록 최대폭발압력은 활석의 첨가율이 20 % 이상에서 급격히 감소하는 것으로 분석되었고 Table 4에 나타난 바와 같이 살리실산분진의 경우는 일정한 비율로 최대폭발압력이 감소하는 것으로 나타났다.

또한 밀가루 분진 및 살리실산분진의 최대폭발압력의 크기는 살리실산분진의 경우가 다소 크게 나타났다. 이는 상대적으로 가연성이 클수록 최대폭발압력도 역시 크게 나타나는 것이라고 사료되며, 활석분진은 불활성분진으로서 열을 흡수하는 역할을 하는 것으로 생각할 수 있다^(1,2). 또한 Table 3과 4에서 활석분진의 함유량 증가와 함께 밀가루분진 및 살리실산분진의 최대폭발압력은 감소하는 현상을 보여주고 있다. 이러한 것은 불활성분진에 의한 폭발 억제효과와 열차단에 의해 화염전파를 방해하기 때문인 것으로 생각된다⁽⁵⁻⁷⁾. 아울러 밀가루분진의 평균폭발상속도는 $11.89 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{sec}$, 살리실산분진의 평균폭발상속도는 $32.39 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{sec}$ 로 계산되었다.

Figure 2. Explosion pressure waves of wheat flour dust.

Figure 3. Explosion pressure waves of salicylic acid dust.

Figure 4. Tendency line of explosion pressure on wheat flour dust.

Figure 5. Tendency line of explosion pressure on salicylic acid dust.

Table 5. Mean Value of Explosion Pressure of Specimens

Line	Wheat flour dust (MPa)	Salicylic acid dust (MPa)
1	$-1.253x+0.424$	$-0.0674x+0.2848$
2	$-1.468x+0.508$	$-1.032x+0.4658$
3	$-0.992x+0.314$	$-1.344x+0.6344$
4	$-0.040x+0.033$	$-0.5245x+0.3978$
5	$-0.272x+0.217$	$-1.386x+0.7665$
6	$-0.370x+0.138$	-
7	$-0.490x+0.213$	-
8	$-0.790x+0.254$	-
9	$-0.992x+0.314$	-
10	$-0.257x+0.165$	-
Average	$y=-0.6637x+0.2513$	$y=-0.8220x+0.4881$

Figure 2는 밀가루 분진폭발시 압력파의 Wave를 나타낸 것으로 중량비가 크고 활석의 혼합비율이 적을 때는 폭발시 압력파의 Wave모형이 뚜렷한데 반해 중량비가 작고 활석의 혼합비율이 증가할수록 압력파의 Wave모형을 감지할 수 없는 것으로 나타났다.

또한 Figure 3은 살리실산 분진의 폭발시 압력파의 Wave를 나타낸 것으로 살리실산 분진의 중량비가 크고 활석의 혼합비율이 적을 때 또는 중량비가 작고 활석의 혼합비율이 클 때를 막론하고 폭발시 압력파의 Wave모형이 뚜렷하게 감지되는 것으로 나타났다. 이는 밀가루 분진과 살리실산분진의 가연성의 정도가 살리실산분진의 경우가 더 큰 것 때문인 것으로 사료된다.

Figure 4와 5는 밀가루 분진 및 살리실산 분진의 불활성 물질인 활석을 10%씩 증첨하면서 각각의 혼합비율에 대해 반복 실험을 하여 얻어진 폭발압력의 각각의 분포를 도식한 것으로 각각에 대하여 회귀분석의 방법인 최소자승법(Least Square Method)을 이용하여 계산된 결과 값이며, Table 5는 각각의 폭발압력 추세선의 평균값을 계산한 것이다. Table 5에서 나타난 바와 같이 밀가루 분진의 경우 폭발압력의 평균치는 $y=-0.6637x+0.2513$ 로 계산되었고, 살리실산 분진의 경우는 $y=-0.8220x+0.4881$ 로 계산되었다.

3.2 열적 위험성 평가 실험결과

Figure 6, 7 및 Table 6은 실험 대상시료 2종에 대한 승온속도 10 °C/min의 DSC 결과이다. 살펴보면 밀가루 분진의 경우에는 활석의 첨가량과는 무관하게 흡열 개시온도와 흡열 최고온도 그리고 그에 따른 흡열량의 변화가 일관성 있는 증감의 특징을 보이지 않는 반면에 살리실산의 경우에는 활석의 첨가량이 증가할수록 흡열개시 및 최고온도 그리고 그에 따른 흡열량이 크지는 않지만 미소하게 감소하는 것으로 분석되었다. 또한 밀가루 분진보다는 살리실산분진의 흡열량이 훨씬 높은 것으로 분석되어 이 또

Figure 6. Results of total DSC change when the talc quantity extends in wheat powder dust (raising a temperature 10 °C). **Figure 7.** Results of total DSC change when the talc quantity extends in salicylic acid dust (raising a temperature 10 °C).**Table 6.** Total Results of DSC when the Talc Quantity Extends in Wheat Powder Dust & Salicylic Acid Dust (Raising a Temperature 10 °C)

Type	Talc (%)	T ₁ (°C)	ΔH ₁ (J/g)	T ₂ (°C)	ΔH ₂ (J/g)
Wheat powder dust	0	126.2	389.4	255.2	46.99
	30	158.2	100.7	254.7	47.99
	50	126.2	389.4	255.2	46.99
Salicylic acid dust	0	155.4	212.4	259.2	466.9
	30	154.6	163.2	251.1	375.2
	50	153.5	103.9	247.2	242.3

한 앞서 기술한 폭발유무 및 폭발하한농도의 결과인 살리실산의 경우가 밀가루분진의 경우보다도 가연성이 상대적으로 크다는 일치된 결과를 보여주고 있다.

또한 승온 속도(Heating rate, °C/min)에 따른 열적 안정성을 조사하기 위하여 밀가루분진 및 살리실산분진에 대해 활석을 첨가한 각 농도별로 승온속도를 5 °C/min (Figure 8, 9 및 Table 7), 10 °C/min (Figure 6, 7 및 Table

Figure 8. Results of total DSC change when the talc quantity extends in wheat powder dust (raising a temperature 5 °C).

Figure 9. Results of total DSC change when the talc quantity extends in salicylic acid dust (raising a temperature 5 °C).

Table 7. Total Results of DSC when the Talc Quantity Extends in Wheat Powder Dust & Salicylic Acid Dust (Raising a Temperature 5 °C)

Type	Talc (%)	T ₁ (°C)	ΔH ₁ (J/g)	T ₂ (°C)	ΔH ₂ (J/g)
Wheat powder dust	0	129.1	183.9	246.9	41.45
	30	105.4	146.7	253.9	60.32
	50	156.8	62.48	243.3	5.38
Salicylic acid dust	0	154.5	215.5	254.8	409.2
	30	153.8	156.5	245.2	368.9
	50	153.9	106.4	239.4	250.2

6)로 변화시키면서 DSC 분석을 실시하였으며 그 결과는 시료 2종 모두 승온 속도가 증가 할수록 흡열개시온도가 낮은 온도부분으로 이동하고 있는 것으로 나타났다. 따라서 승온 속도가 증가할수록 시료의 분해위험성이 증가하는 것으로 분석되었다. 또한 온도에 따른 그래프의 변화모형을 살펴본 결과 Figure 6과 8에 나타난 바와 같이 밀가루분진의 경우는 완만한 곡선의 형태를 나타내고 있으나 Figure 7과 9에서와 같이 가연성이 큰 살리실산의 경우는

Figure 10. Results of total TGA change when the talc quantity extends in wheat powder dust (raising a temperature 10 °C).

Figure 11. Results of total TGA change when the talc quantity extends in salicylic acid dust (raising a temperature 10 °C).

깊고 폭이 좁은 형태로 나타남을 볼 수 있었다. Figure 10, 11 및 Table 8, 9는 대상시료인 밀가루분진 및 살리실산분진에 대해 TGA로 분석한 결과로 밀가루분진의 경우는 불활성물질인 활석의 양이 증가할수록 무게감량이 줄어드는 것으로 분석되었으며 살리실산분진의 경우도 동일한 분석 결과를 나타내었다. 이는 고유농도의 증가 즉, 활석의 농도가 낮아질수록 열분해가 빨리 진행되어지는 것과 활석의 농도 증가가 밀가루 및 살리실산의 열분해를 늦추는 것으로 판단된다. 또한 무게감량의 비율은 살리실산분진이 밀가루분진에 비하여 동일한 농도조건에서 무게감량이 훨씬 더 잘 되는 것으로 분석되었다.

구체적으로 살펴보면 밀가루분진의 경우 350 °C 부근에서 평균 약 50 % 정도의 수분감량이 발생하는 것을 볼 수 있었다. 이는 Figure 6과 8에 나타난 밀가루분진의 DSC분석결과와 일치하고 있음을 알 수 있다. 또한 살리실산의 경우는 200 °C 부근에서 평균 약 74 % 정도의 수분감량이 발생하는 것을 볼 수 있었다. 이러한 결과는 밀가루분진 및 살리실산분진의 농도가 같더라도 가연성이 큰 살리실산분진인 경우가 훨씬 더 낮은 온도에서 분해가 완결되며 이는 밀가루 분진에 비해 좀 더 위험성이 높은 것으로 분석되었

Table 8. Results of TGA on Wheat Powder Dust when the Talc Quantity Extends

Wheat Powder Dust TGA-Talc 0 %		
DST (°C)	DET (°C)	RTV
177.89	374.74	10.03 °C/min
DSt (min)	DEt (min)	WL (%)
15.45	35.08	70.18
Wheat Powder Dust TGA-Talc 30 %		
DST (°C)	DET (°C)	RTV
199.28	368.85	9.96 °C/min
DSt (min)	DEt (min)	WL (%)
17.15	34.17	47.96
Wheat Powder Dust TGA-Talc 50 %		
DST (°C)	DET (°C)	RTV
188.09	370.56	9.95 °C/min
DSt (min)	DEt (min)	WL (%)
16.08	34.41	33.83

Table 9. Results of TGA on Salicylic Acid Dust when the Talc Quantity Extends

Salicylic Acid Dust TGA-Talc 0 %		
DST (°C)	DET (°C)	RTV
102.13	185.25	9.71 °C/min
DSt (min)	DEt (min)	WL (%)
7.79	16.35	98.74
Salicylic Acid Dust TGA-Talc 30 %		
DST (°C)	DET (°C)	RTV
99.75	184.3	9.80 °C/min
DSt (min)	DEt (min)	WL (%)
7.55	16.17	69.16
Salicylic Acid Dust TGA-Talc 50 %		
DST (°C)	DET (°C)	RTV
90.19	175.22	9.81 °C/min
DSt (min)	DEt (min)	WL (%)
6.56	15.22	48.85

다. 또한 Table 8, 9에서 나타난 결과와 같이 시료의 고유농도가 커질수록 동일한 온도에서 무게감량은 증가하고 있으며, Figure 10, 11에 나타난바와 같이 온도가 증가할수록 각각의 곡선의 차이는 점점 커지는 것을 볼 수 있다.

이는 시료의 농도가 증가하는 경우 내부물질의 분해가 느리기 때문에 발생하는 현상으로 앞서의 DSC 결과에서 승온 속도가 낮은 경우에 분해에 의한 발열피크가 이중으로 나타나는 현상과 일치하는 것으로 사료된다.

그리고 DSC 실험결과 나타난 바와 같이 활석의 첨가량

이 증가할수록 열유속은 감소하고 온도 또한 약간의 감소상태인 것으로 분석되었다. 아울러 활석의 양이 증가할수록 전체 무게감량이 줄어드는 것으로 나타났다. 이는 분해속도가 줄어드는 것이고 이것은 위험성이 감소하는 것을 나타내는 것이다. Table 8, 9에서 사용한 약어는 다음과 같다.

DST: Decomposition Starting Temperature, DET: Decomposition Ending Temperature, DSt: Decomposition Starting time, DEt: Decomposition Ending time, WL: Weight loss, RT: Raising temperature이다.

4. 결 론

본 연구에서는 제조현장에서 채집한 밀가루 분진 및 살리실산 분진에 대하여 서로 폭발 및 열적특성실험을 수행한 결과 다음과 같은 종합적인 결론을 도출할 수 있었다. 대상시료에 불활성분진을 첨가시 분진의 농도변화에 따른 평균폭발확률은 대상시료 2종의 평균 50 %로 나타났으며 폭발하한농도는 활석분진의 비율이 증가할수록 폭발하한농도가 증가하는 것으로, 폭발압력은 활석의 양이 많아질수록 최대폭발상승압력은 감소하는 것으로 분석되어 활석분진이 불활성으로 열흡수제의 역할을 하는 것으로 분석되었다. 그리고 폭발시 압력과의 Wave모형은 살리실산과 같이 가연성이 큰 분진일수록 뚜렷하게 감지되는 것으로 나타났다. TGA 분석결과 실험대상 2종 모두 시료의 양이 증가할수록 혼소개시온도가 낮아지고 연소형태는 모두 혼소하였다. 그리고 실험대상 2종 모두 시료의 불활성분진인 활석첨가량이 적을수록 즉, 고유농도가 커질수록 무게감량은 증가하고 온도가 증가할수록 각각의 곡선의 차이는 커지는 것으로 나타나 이는 내부물질의 분해가 느리기 때문에 발생하는 것으로 분석되었다.

이상의 실험결과와 더불어 향후 분진의 폭발억제를 위한 불활성물질에 대한 연구는 불활성분진 첨가뿐만 아니라 불활성가스의 사용에 대해서도 심도있는 연구가 이루어져야 하겠다. 또한 외국의 경우와 같이 분진의 폭발방지를 위한 제도적 준비와 다양한 분진발생장소인 면장갑 공장, 가축사료공장, 설탕가공공장, 제분관련공장등과 폴리에틸렌, 페놀수지, 금속가루 등이 부유하는 위험분위기 장소 그리고 화약류취급 및 사용업체 등 분진의 잠재폭발위험성에 대해 시험을 통한 국가적인 안전기준도 마련되어야 하겠다⁽⁷⁾. 마지막으로 본 연구의 내용이 분진을 취급하는 공장이나 작업장에 기초적인 자료로 적용되어 분진폭발 사고의 방지에 큰 역할을 할 수 있기를 바란다.

감사의 글

본 논문은 2012년도 호원대학교 교내학술연구비지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. C. W. Lee, Y. M. Hahm, J. H. Kim and S. H. Hyun, "A Study on the Riskness of Dust Explosion of Feed Stuff", *Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering*, Vol. 12, No. 2, pp. 61-68 (1998).
2. H. J. Kim, S. H. Hyun and C. W. Lee, "A Study on Combustion Characteristics of Starch", *Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering*, Vol. 15, No. 2, pp. 1-5 (2001).
3. Rolf. K Eckhoff, "Pressure Development During Explosion in Clouds of Dust From Grain", *Fire Research* (1977).
4. ASTM, Designation: E789-95 (Reapproved), "Standard Test Method for dust Explosion in a 1.2 Liter Closed Cylindrical Vessel" (2001).
5. Waylcmd C, Griffith, "Dust Explosion", *Ann. Rev. Fluid Mech* (1978).
6. K. N. Palmer, "Dust Explosion and Fires", Chapman & Hall, London (1973).
7. Richard E. Cocks, "Dust Explosion: Prevention and Control", *Chemical Engineering* (1979).
8. W. H. Kim, S. C. Lee, S. S. Seung and J. N. Kim, "Explosion Characteristics of Bituminous Coal Dusts in Cement Manufacturing Process", *Journal of Korean Academia Industrial Cooperation Society*, Vol. 9, No. 2, pp. 257-263 (2008).
9. I. G. Choi, I. K. Cho, Y. S. Mok, D. H. Lee, J. W. Choi and D. H. H. Ha, "The Measurement of Minimum Ignition Energy and Explosion Limit for Pine Tree Dust", *Journal of The Korean Institute of Gas*, Vol. 2, No. 2, pp. 55-60 (1998).
10. Wolfagang Bartknecht, "Dust Explosions", Springer Velag Belin Heidelberg, pp. 2-9 (1989).
11. O. S. Han, I. S. Han, Y. R. Choi and K. W. Lee, "Explosion Properties and Thermal Stability of Reactive Organic Dust", *Journal of The Korean Institute of Gas*, Vol. 15, No. 4, pp. 7-14 (2011).
12. C. W. Lee, Y. M. Hahm, J. H. Kim and S. H. Hyun, "A Study on the Explosion Riskness with Flying of Activated Carbon", *Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering*, Vol. 12, No. 3, pp. 3-9 (1998).
13. C. W. Lee, Y. M. Hahm, J. H. Kim and S. H. Hyun, "Explosion Riskness with Flying of Carbon Black Dust", *Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering*, Vol. 12, No. 4, pp. 13-19 (1998).
14. Tasneem Abbasi and S. A. Abbasi, "Dust Explosion Case-Cause, Consequence, and Control", *Journal of Hazardous Materials*, pp. 140-144 (2007).
15. C. W. Kauffman, Agricultural dust explosions in grain handling facilities, in: J. H. S. Lee, C. M. Guirao (Eds.), *Fuel-air Explosions*, University of Waterloo Press, Waterloo, Ontario, Canada, pp. 305-347 (1982).