



금속성 분진폭발의 영향 분석을 위한 기반구축에 관한 연구

장창봉 · 이경진 · 문명환 · 백주홍 · †고재욱

광운대학교 화학공학과

(2017년 3월 13일 접수, 2017년 8월 17일 수정, 2017년 8월 18일 채택)

A Study of Establishment of the Infrastructure for Consequence Analysis of Metallic Dust Explosion

Chang Bong Jang · Kyung Jin Lee · Myong Hwan Moon · Ju Hong Baek · †Jae Wook Ko

Dept. of chemical Engineering, Kwangwoon University, Seoul 139-701, Korea

(Received March 13, 2017; Revised August 17, 2017; Accepted August 18, 2017)

요약

다양한 산업분야의 첨단제품들의 기능향상이나 디자인 등을 위해 알루미늄이나 마그네슘과 같은 가연성 금속의 사용량이 증가하고 있으며, 이러한 금속의 가공공정의 증가로 인한 금속분진이 발생할 가능성이 증가 되며 이는 금속분진으로 인한 폭발사고의 증가로 이어지고 있다. 금속분진에 의한 폭발의 경우 고체 및 열분해에 의해 발생된 증기의 혼합 상태에서의 연소라는 점에서 실험적인 해석이 가스폭발이나 증기 연소에 비해 매우 복잡하기 때문에 국내 · 외적으로 분진폭발에 대한 연구가 현재로서는 부족한 실정이다. 본 연구에서는 가연성 금속분진의 폭발에 대한 리스크 분석을 위한 기반구조를 마련하고, 이러한 기반을 토대로 효율적인 분석방법을 제시하기 위해 분진폭발에 대한 폭발이론과 특성에 대하여 정리 및 제시하였으며, 금속성분진 별 폭발특성을 데이터베이스화 하여 분진폭발에 대한 리스크 분석과 연구에 사용할 수 있는 기반을 마련하였다.

Abstract - Recent years have witnessed the increased usage of flammable metals, such as aluminum or magnesium, in wide range of high-tech industries. These metals are indispensable for the improvement of physical properties of materials as well as the design capability of the final product. During the process, unwanted metal dusts could be released to the environment. This can lead to an occupational health and safety issues. Due to their flammable nature, more serious problem of an explosion can happen in extreme cases. The explosion is the combustion of tiny solid particles and vapor mixture, caused by pyrolysis. This complex composition makes engineering analysis more difficult, compared to simple gas explosions or vapor cloud combustions. The study was conducted to assess this light metal dust explosion in an effort to provide the bases for a risk assessment. Dust explosion characteristics of each material was carefully evaluated and an appropriate analysis tool was developed. A comprehensive database was also constructed and utilized for the calibration of the developed response model and the verification for its accuracy. Subsequently, guidelines were provided to prevent dust explosions that could occur in top-notch industrial processes.

Key words : dust explosion, combustible metal dust, risk analysis

†Corresponding author:jwko@kw.ac.kr

I. 서론

국내 산업의 구조는 시간이 지날수록 첨단산업 위주로 전환이 되고 있으며 자동차, 항공기, 휴대폰, 소형가전 등 다양한 산업분야에 알루미늄, 마그네슘, 리튬, 아연과 같은 금속과 PE(Polyethylene), HDPE(High-density Polyethylene)과 같은 고분자들의 사용량이 증가하고 있다.

이러한 물질들은 가공과정과 고분자를 형성하기 위한 원료 배합과정에서 다량의 분진이 형성될 수 있으며, 밀폐된 공간에서 형성된 분진들은 미상의 점화원에 의하여 점화가 이루어질 경우, 공기 중에 부유된 분진들이 연쇄적으로 연소되어 폭발로 전개될 수 있다. 이러한 현상을 분진폭발이라 한다.

국내의 분진폭발 사고사례로는, 2016년 10월 구미에서 발생한 잔류 테라프탈산에 의한 분진폭발이 있으며, 국외의 경우 2010년 12월 웨스트버지니아의 티타늄·지르코늄 고철 가공 시설에서 발생한 분진 폭발사고가 있다. 앞서 이야기한 사고사례 이외에도 곡물과 목재 등 우리 일상생활에서 흔히 볼 수 있는 분진의 폭발과 관련된 사고는 지속적으로 발생하고 있으며[1], 국내의 경우 분진폭발을 예방하기 위한 연구가 지속적으로 수행되고 있지만[2], 분진폭발에 잠재되어있는 위험성을 평가하는 기법은 화학공장에서 발생할 수 있는 폭발에 대한 위험성 평가기법과 비교하면 부족한 실정이다[3].

본 연구는 가연성 금속분진의 폭발한 리스크를 분석하기 위한 기반구조를 마련하고, 이를 토대로 효율적인 분진폭발의 분석방법을 제시하고자 수행하였다.

II. 분진폭발의 이론 및 특성

2.1. 분진의 정의

고체를 세분화하면 작은 입자가 되며, 연소공학과 분체공학에서는 미립자, 미분체라고 한다. 안전공학에서는 이를 분진이라 한다.

일반적으로 분진폭발의 대상이 되는 고체의 크기는 직경이 500 μm 이하가 대부분이며, 예외적으로는 스테알린산, 메타크릴산아미드, 폴리스틸렌 등과 같이 입경이 1000 μm 이상이라도 분진폭발이 발생하는 물질이 존재한다[4].

(1) 분진폭발의 메커니즘

제한된 공간에 존재하는 분진이 공기 중에 부유된 상태에서 점화원에 의해 점화될 경우 연소가 발생하고 분진을 따라 화염이 전파된다. 이때 분진을

이루는 물질의 특성과 입자의 크기, 연소특성 등과 같은 여러 변수들에 의해 화염전파의 크기와 비율이 결정된다.

분진폭발은 본질적으로는 분진자체에 가연성 가스가 저장되어있는 가스폭발로 볼 수 있다, 그러나 폭발 과정에서 분진 입자표면의 온도를 순간적으로

Table 1. Influence of dust properties/characteristics on dust explosion parameters [8]

Group	Factor	Description
Chemical characteristics	Lower Explosive Limit	The lower value is increases explosive affected by particle size
	Minimum Ignition temperature	The lower value is increases explosive
	Minimum Ignition Energy	The lower value is increases explosive affected by particle size
	Combustion Energy	The lower value is increases explosive affected by particle size
	Reactivity with water	Some metal dust is reacted with water vapor to increase the explosive (Mg/Al generate H ₂ with water)
	Combustion speed	The higher value is increases explosive affected by particle size
Physical condition	Inert dust concentration	Increasing inert dust concentration is same effect decreasing dust concentration
	Particle diameter	The lower value is increases explosive
	Water containment	Water containment
	Oxygen concentration	The higher value is increases explosive
	Inert gas concentration	Higher inert gas concentration will decrease oxygen concentration
	Volatile chemical concentration	Volatilization of other chemical will increase dust floating

상승시키는 열전도(heat conduction)와 복사열전달(heat radiation)이 두드러지는 것이 가스폭발과 다른 점이다[5].

온도를 순간적으로 상승시키는 분진폭발의 특성은 아주 작은 밀폐공간이라 할지라도 분진이 점화될 경우 큰 폭발을 발생시킬 수 있으며, 분진의 경우 가스나 증기운과는 지속성과 물리적 발생형태가 다르며, 공기중 부유하고 있는 분진의 화염전파로 인하여 퇴적되어있는 분진에도 화염이 전파되어 2차 폭발이 일어날 수 있다.[6, 7]

(2)분진폭발의 주요 영향인자

분진폭발에 영향을 미치는 주요 인자로는 분진의 화학적 성질, 입자의 크기, 분진의 농도, 산소농도, 분진운의 확산상태, 난류 등이 있으며 아래의 Table 1 과 같이 분류할 수 있다 [8].

(3)분진폭발의 위험변수

분진폭발은 연소속도와 폭발압력이 가스폭발에 비하여 연소시간이 길어 발생하는 에너지 총량은 크기 때문에 폭발력이 큰 특징이 있다. 발생에너지가 최고치에 도달하였을 경우 온도는 2,000~3,000℃에 달하며, 분진폭발시 폭발압력이 우선 전파된 뒤 0.1~0.2초 이후에 화염이 전파된다, 이때 화염의 전파속도는 상온, 상압 하에서 2~3 m/s 로 분진의 팽창에 의한 압력상승과 더불어 전파속도 또한 급격하게 증가하여 큰 폭발압력을 형성한다.

분진폭발은 가스폭발에 비해 특성화하기가 어려운데, 이는 분자량이 적고 물질의 특성이 비교적 정리가 잘 되어있는 가스 폭발에 비해 분지의 경우 입자의 크기와 분자량이 다양하고 중력이 입자의 거동에 영향을 줄 수 있기 때문이다.

III. 리스크 분석을 위한 모델

3.1. 파열압력 모델 (Rupture Pressure Model)

가연성 분진이 밀폐된 공간 내부에서 폭발할 경우, 폭발압력에 따른 응력(stress)은 구조물의 형태에 따라 특정 부위로 집중되며 파열은 이러한 응력이 집중되는 부분에서 발생한다는 것은 본 연구의 선행 연구에서 과학적인 해석을 통하여 확인하였다 [9].

분진의 최대폭발압력과 설비의 파열가능 압력을 예측 비교분석 함으로써, 효율적인 리스크 분석과 안전계획 수립을 위한 근거로 활용할 수 있는 관계식을 제시하였으며, 해당 식은 가연성 분진을 포집 및 저장 할 수 있는 장치의 일반적인 제작형태인 Box Type과 Cylinder Type으로 구분하였다.

(1) Box Type
가연성 분진을 포집 및 저장하는 Box Type 저장 장치의 대표적인 형태는 Fig. 1과 같으며, 이는 국



Fig. 1. The form of installing Box type structure.

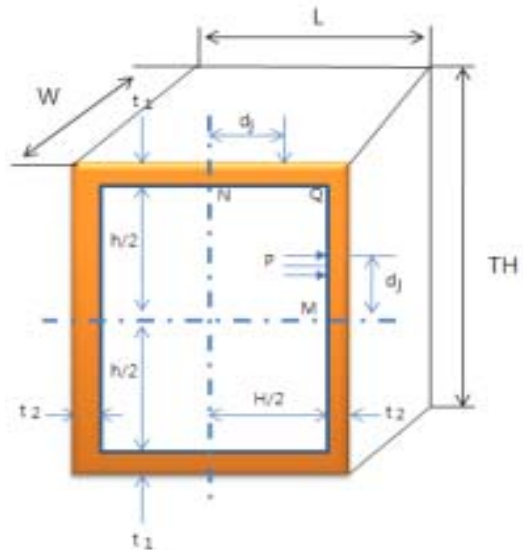


Fig. 2. The stress algebraic of rectangular cross-section.

소배기설비 중 공기정화장치로써 여과제진식(Bag-filter) 방식으로 운영되고 있다.

이러한 Box type 용기의 파열가능 압력은 각 단면에서의 응력인 멤브레인 응력(Membrane stress)과 굽힘응력(Bending stress)을 통해 구할 수 있다.

Box type 구조물의 파열가능 압력을 구하기 위해 멤브레인 응력과 굽힘응력의 적합한 대수는 Fig. 2와 같다. Fig. 2에서 제시된 기호 중 h는 직사각형 용기의 긴쪽 내면길이, H 직사각형 용기의 짧은 쪽의 내면길이, t 는 두께, d₁ 는 판의 중간 길이에서 용접 이음부 또는 판의 직선 부분에 있는 구멍 열의 중심선까지의 거리, M은 굽힘모멘트, P는 내부설계압력, N 은 용기의 중심지점, Q 는 모서리 지점을 나타낸다.

□ 정상상태에서의 파열가능 압력

➤ 짧은쪽 면의 중심지점에서의 파열압력

$$P_{Short-N(Rupture)} = \frac{S_A}{\frac{h}{2t_1} + \left(\frac{c_1}{12I_1} \left[-1.5H^2 + h^2 \frac{(1+\alpha^2 K)}{1+K} \right] \right)} \quad (1)$$

➤ 짧은쪽 면의 모서리 지점에서의 파열압력

$$P_{Short-Q(Rupture)} = \frac{S_A}{\frac{h}{2t_1} + \frac{h^2 c_1}{12I_1} \left(\frac{1+\alpha^2 K}{1+K} \right)} \quad (2)$$

➤ 긴쪽 면의 중심에서의 파열압력

$$P_{Long-M(Rupture)} = \frac{S_A}{\frac{H}{2t_2} + \frac{h^2 c_2}{12I_2} \left[-1.5 + \frac{(1+\alpha^2 K)}{1+K} \right]} \quad (3)$$

➤ 긴쪽 면의 모서리에서의 파열압력

$$P_{Long-Q(Rupture)} = \frac{S_A}{\frac{H}{2t_2} + \frac{h^2 c_2}{12I_2} \frac{(1+\alpha^2 K)}{1+K}} \quad (4)$$

폭발은 순간적으로 발생하며 폭발시 구조물의 파열압력은 정상상태와는 다르게 나타난다. 따라서, 폭발시 구조물의 파열가능 압력을 예측하기 위하여 재료의 두께에 대한 용접부 공률 반경비를 반영한 응력집중계수(λ)를 적용하여 폭발시 파열압력 계산식을 도출하였다.

□ 폭발시 파열 압력

➤ 짧은쪽 면의 중심지점에서의 폭발시 파열압력

$$P_{Short-N(Ex-Rupture)} = \frac{P_{Short-N(Rupture)}}{\lambda} \quad (5)$$

➤ 짧은쪽 면의 모서리 지점에서의 폭발시 파열 압력

$$P_{Short-Q(Ex-Rupture)} = \frac{P_{Short-Q(Rupture)}}{\lambda} \quad (6)$$

➤ 긴쪽 면의 중심에서의 폭발시 파열압력

$$P_{Long-M(Ex-Rupture)} = \frac{P_{Long-M(Rupture)}}{\lambda} \quad (7)$$

➤ 긴쪽 면의 모서리에서의 폭발시 파열압력

$$P_{Long-Q(Ex-Rupture)} = \frac{P_{Long-Q(Rupture)}}{\lambda} \quad (8)$$

(2) Cylinder Type

분진을 포집 및 저장하는 대표적 장치형태는 Fig. 3 과 같이 Cylinder type으로 이 장치 역시 국소배기설비 중 공기정화장치에 해당되며 여과제진식(Bag-filter)방식으로 운영된다.



Fig. 3. The form of installing cylinder type structure.

이러한 형태의 용기에 대한 파열압력은 아래 식과 같다.

□ 설계압력

$$P = \frac{S \times E \times t^2}{C \times d^2} \quad (9)$$

□ 파열압력

$$P_{rupture} = \frac{S_A \times E \times t^2}{C \times d^2} \quad (10)$$

위 식에서 P는 설계압력, P_{rupture}는 파열압력, S는 재료의 최대허용 응력치, S_A는 재료의 인장강도, E는 조인트 효율, t는 부식허용공차를 제외한 최소 요구 되는 헤드두께, C는 평판의 부착방법에 따라 정해지는 정수(0.2이상), d는 용기의 내경을 말한다.

3.2. 폭발모델 (Explosion model)

본 연구에서는 폭발시 발생하는 과압의 영향을 나타내기 위해 분진별 최대폭발압력 값을 이용하여 해당 분진의 폭발에너지를 산정하고 산정된 에너지를 TNT 양(kg)로 환산하여 거리에 따른 피해영향을 나타내었다. 폭발시 발생하는 에너지를 산정하기 위해 Baum(1985) 식을 활용하였으며 폭발에너지 식은 다음과 같다.

$$E = k \frac{(P - P_0)}{\gamma - 1} V_0 \quad (11)$$

식 (11)에서 E는 폭발에너지(J)이며 k는 보정계수(무차원), P는 최대폭발압력 (N/m²), P₀는 대기압력(N/m²), V₀는 저장용기의 부피(m³)를 말한다. 또한 식 (11)의 상수 k는 초기에너지의 비율을 나타내며 식은 다음과 같다.

$$k = \left[1 - \left(\frac{P}{P_0} \right)^{(\gamma-1)/\gamma} \right] + (\gamma-1) \frac{P}{P_0} \left[1 - \left(\frac{P}{P_0} \right)^{-1/\gamma} \right] \quad (12)$$

식 (10)에서 γ는 항상 0.2~0.5의 범위 값을 갖고 있으며, CCPS의 문헌에서는 0.2를 대부분 사용하고 있다. 식 (9)에서 구한 폭발에너지는 환산법칙을 이용하여 실제 피해거리를 구할 수 있다.

$$Z_e = \frac{R}{W^{1/3}} \quad (13)$$

환산거리 Z_e는 환산과합 P_s와의 경험식을 이용하여 계산할 수 있다.

$$P_s = \frac{P_0}{P_a} = \frac{1616 \left[1 + \left(\frac{Z_e}{4.5} \right)^2 \right]}{\sqrt{1 + \left(\frac{Z_e}{0.048} \right)^2} \sqrt{1 + \left(\frac{Z_e}{0.32} \right)^2} \sqrt{1 + \left(\frac{Z_e}{1.35} \right)^2}} \quad (14)$$

위 식 (14)에서 P₀는 최고입사과압을 나타내며 P_a는 대기압을 의미한다.

3.3. 영향모델 (Effect Model)

일반적으로 폭발로 인한 인적·물적 피해의 영향정도를 정량적으로 평가 분석하는데 있어서 가장 적절하게 활용할 수 있는 것은 확률단위(Probit)방

Table 2. Constants for probit equation [10]

Type of injury or damage	Causative variable(V)	Probit parameters	
		k1	k2
Deaths form lung hemorrhage	P *	-77.1	6.91
Eardrum ruptures	P *	-15.6	1.91
Deaths from impact	J	-46.1	4.82
Injuries from impact	J	-39.1	4.45
Structural damage	P *	-23.8	2.92
Glass Breakage	P *	-18.1	2.79

Table 3. Transformation value of probits to percentages [10]

%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	2.67	2.95	3.12	3.25	3.36	3.45	3.52	3.59	3.66
10	3.72	3.77	3.82	3.87	3.92	3.96	4.01	4.05	4.08	4.12
20	4.16	4.19	4.23	4.26	4.29	4.33	4.36	4.39	4.42	4.45
30	4.48	4.50	4.53	4.56	4.59	4.61	4.64	4.67	4.69	4.72
40	4.75	4.77	4.80	4.82	4.85	4.87	4.90	4.92	4.95	4.97
50	5.00	5.03	5.05	5.08	5.10	5.13	5.15	5.18	5.20	5.23
60	5.25	5.28	5.31	5.33	5.36	5.39	5.41	5.44	5.47	5.50
70	5.52	5.55	5.58	5.61	5.64	5.67	5.71	5.74	5.77	5.81
80	5.84	5.88	5.92	5.95	5.99	6.04	6.08	6.13	6.18	6.23
90	6.28	6.34	6.41	6.48	6.55	6.64	6.75	6.88	7.05	7.33
%	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
99	7.33	7.37	7.41	7.46	7.51	7.58	7.65	7.65	7.88	8.09

범으로 폭발시 초래되는 과압 또는 임펄스(Impulse)의 함수인 Probit 계산식을 이용하며 식은 다음과 같다.

$$P_r = k_1 + k_2 \log_e V \quad (15)$$

식 (15)를 이용하여 사람과 시설물의 폭발피해영향을 분석하기 위해 사용되는 변수는 Eisenberg가 제안하였으며 해당변수는 다음의 표와 같다[10].

IV. 데이터베이스 구축

분진으로 인한 폭발사고발생시 리스크를 분석하고 제시하기 위해서는 해당 분진의 폭발 특성을 이해하는 것이 가장 중요하다. 분진의 폭발특성은 실험을 통하여 확인할 수 있지만, 대상물질과 범위가 광범위하며 국내·외적으로 일부물질에 대해서만 실제 실험이 이루어진 상태이다.

본 논문에서는 가연성 금속분진의 폭발특성에 대한 데이터를 수집 및 정리함으로써 금속분진의 리스크 분석의 기반이 될 수 있는 데이터베이스를 수집 및 구축하였다.

가연성 금속분진의 폭발특성에 대하여 문헌데이터와 실험데이터를 수집 및 정리하여 데이터베이스를 구축하였으며, Table 4와 Fig 4와 같은 데이터베이스 구성기준 및 구성도를 이용하였다.

구축된 가연성 금속분진의 폭발특성 데이터베이스는 Table 5와 같다.

V. 사례연구

본 논문에서 제시한 수식들과 데이터베이스를 토대로 사례연구를 수행하였다. 대상공정은 자동차 부품을 생산하는 공장의 가연성 금속분체를 이용한 도장 공정으로, 부품의 표면에 알루미늄 분체를 고압 분사한 후 180 °C의 온도로 가열함으로써 분말이 제품표면에 녹아들어 피막을 형성하도록 하는 공정이다.

□ 취급분체

➢ 분체명 : Al(평균입경 30 μm)

□ 국소배기설비

- 유형 : 여과집진방식(Bag-Filter)
- 형식 : Air Pulsing Type
- 용량 : 200 m³/min
- 공기정화장치

Table 4. Symbol description of using in database

기 호		설 명
Median(μm)		평균입자 크기
Cmin(g/m ³)		최소폭발농도
Pma ^x	(bar)	최대폭발압력
	Con.(g/m ³)	최대폭발압력이 발생하는 농도
Kst(m-bar/s)		폭연지수
Tmin(°C)		최소점화온도
dP/dt(bar/s)		최대폭발압력상승속도
Explos. Class		폭발등급
Source		자료출처(M : 문헌데이터, E : 실험데이터)

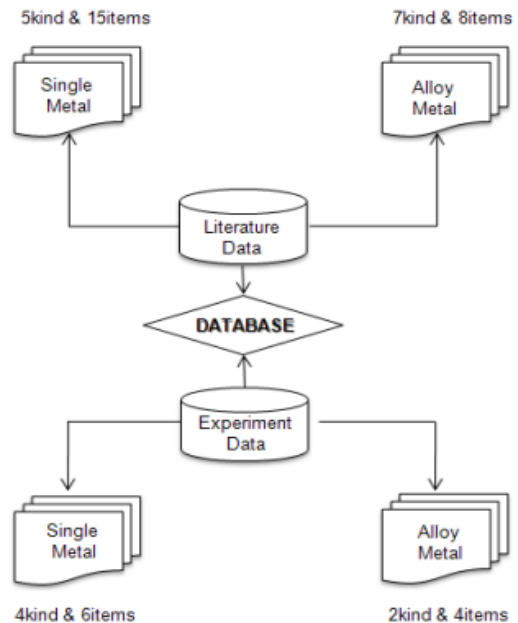


Fig. 4. Logic Diagram of Database.

- 규격 : 1,800W × 2,200L × 6,150H
- 재질 : SS400(3.5T)

Table 5. Explosion characteristics database of Combustible metal dust

Type	Median (μm)	Cmin (g/m^3)	Pmax		Kst ($\text{m}\cdot\text{bar}/\text{s}$)	Tmin ($^{\circ}\text{C}$)	dP/dt (bar/s)	Explos. Class	Data
			(bar)	con. (g/m^3)					
Al	<10	60	11.2	n	515	560	n	St. 3	M
	16.1	30	9.8	1500	502	n	1852	St. 3	E
	22	30	11.5	n	110	500	n	St. 1	M
	23	30	11.0	n	320	850	n	St. 3	M
	24.9	30	9.8	1500	499	n	1838	St. 3	E
	29	30	12.4	n	415	710	n	St. 3	M
	33	60	7.9	n	87	n	322	St. 1	E
41	60	10.2	n	100	>850	n	St. 1	M	
Al+Fe (50:50)	21	250	9.4	n	230	760	n	St. 2	M
Al+Ni	<10	<10	11.4	n	300	n	n	St. 2	M
Al+Mg	130	130	n	n	10.4	52	n	n	M
Al+Mg (50:50wt%)	151	60	8.7	60	151	n	558	St. 1	E
Al+Mg (40:60wt%)	152	60	8.0	60	122	n	449	St. 1	E
Al+Mg (60:40wt%)	160	50	9.4	50	123	n	472	St. 1	E
Mg	28	30	17.5	n	508	n	n	St. 3	M
	150	30	6.4	750	27	n	100	St. 1	E
	240	500	7.0	n	12	760	n	n	M
Bronze powder	18	750	4.1	n	31	390	n	n	M
Ca+Al (30:70)	22	n	11.2	n	420	600	n	n	M
Ca+Si (from cyclone)	21	60	9.8	n	200	770	n	n	M
Fe (from dry filter)	12	500	5.2	n	50	580	n	n	M
FeSiMg (22:45:26)	17	n	9.4	n	169	670	n	n	M
FeSiMg (24:47:17)	21	n	9.9	n	267	560	n	n	M
Si	<10	125	10.2	n	126	>850	n	n	M
Si (from filter)	60	9.5	116	n	n	>850	n	n	M
Si (from dust extr.)	16	60	9.4	n	100	800	n	n	M
Ti	30	n	n	n	n	450	n	n	M
Ti (preoxidized)	35	n	n	n	n	380	n	n	M
Zn (dust from collector)	7.8	500	5.5	2750	87	n	321	St. 1	E
Zn (dust from collector)	10	125	7.3	n	176	n	n	n	M
Zn (from zinc coating)	19	n	6.0	n	85	800	n	n	M
Zn (from zinc coating)	21	250	6.8	n	93	790	n	n	M
Zn+Al (dust from collector)	n	500	4.1	1250	30	280	112	St. 1	E

Table 6. The results of overpressure and rupture pressure pf bag-filter system in powder coating process[11]

기준 과압	피해영향	피해거리
0.02 barg	최소안전거리 확보범위 (10% 유리창 파손)	227 m
0.13 barg	건물의 부분적 파손	55 m
0.20 barg	건물 골격의 변형 가능한 중대 파손	31 m
파열 압력		4.2 barg (61.2psig)

(1)분석방법

가연성 금속을 이용한 분체공정에서 발생될 수 있는 사고는 분진의 폭발조건을 고려할 때 국소배기설비의 공기정화장치에서 폭발사고가 발생될 수 있다.

공기정화장치에서 폭발사고가 발생할 경우 과압에 의한 피해영향을 본 논문에서 제시하고 있는 식과 데이터베이스를 활용하여 분석하였으며 결과는 아래 표와 같다.

분체도장 공정의 공기정화장치에서 폭발이 발생할 경우, 폭발압력은 공기정화장치를 충분히 파열시킬 수 있었으며, 최대 227m 내에 위치한 시설물과 외부 근로자에게 피해를 미치는 것으로 나타났다.

VI. 결 론

본 연구에서는 가연성 금속분진에 의한 폭발위험을 효율적으로 분석하기 위해, 분진폭발에 대한 이론과 특성을 정리 및 제시하였으며, 금속분진이 발생할 수 있는 설비에 대한 효율적인 리스크 분석을 위해 분진폭발특성 데이터베이스를 구축하였고, 폭발로 인하여 발생할 수 있는 분진포집시설의 파열압력계산식 및 폭발피해영향을 분석할 수 있는 방법을 제시하였다.

이러한 분석과 예측기법을 통해, 가연성 금속분진을 포집 및 저장하는 설비의 제작 또는 설치 시 생산공정 라인과 작업자 이동반경 그리고 사무실 위치 등과 같은 현장 내 변수를 고려하여 안전대책을 수립함으로써 안전수준을 향상시킬 수 있을 것이다.

감사의 글

이 논문은 2013년도 광운대학교 교내학술연구비 지원에 의해 연구되었음.

REFERENCES

- [1] R. K. Eckhoff, "Dust Explosion in the Process Industries", 3rd ed., Gulf Professional Publishing, USA, (2003)
- [2] 한우섭, "산업현장의 분진폭발 위험성 연구 동향", 한국산업안전보건공단 안전보건 연구동향, Vol 12, pp.20, (2008)
- [3] 한우섭 외 4명 "집진배관 내에서의 분진의 발화 특성 및 폭발방지 연구", 산업안전보건연구원 보고서, (2009)
- [4] 한우섭 외 5명 "중대사고 예방을 위한 공정위험 물질 및 반응공정 위험성평가 연구", 산업안전보건연구원 연구보고서, (2007)
- [5] 최영삼, "분진폭발의 현상과 방지대책에 관한 고찰", 소방논문 제 5집, (2001)
- [6] C.Proust, A few fundamental aspect about ignition and flame propagation in dust clouds", J. Loss Prevent. Process Ind. 19, pp.104-120, (2005)
- [7] R.K.Eckhoff, "Differences and similarities of gas and dust explosion a critical evaluation of the European 'ATEX' directives in relation to dusts", J.Loss Prevent, Process Ind. 19, pp553-560, (2006)
- [8] Tasneem Abbasi, S.A.Abbasi, "Dust explosion-case, cause, consequence, and control", Journal of Hazardous Materials, 140, pp7-144, (2007)
- [9] Jang, C. B., Yong, J. W., Baek, J. B., Kwon, H. M., Ko., J. W., "3-Dimensional Finite Element Analysis for Collecting Structure of Combustible Metal Dust During Explosion", KIGAS, 15(5), PP.19~24, (2011)
- [10] CCPS, "Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis", AIChEM, New York, (2000)
- [11] V.J. Clancey, "Diagnostic Features of Explosion Damage", Sixth International Meeting of Forensic Sciences, (1972)