

## 분진(粉塵) 폭발에 대한 고찰

김 정 곤 · 원 응 돈

### 1. 서 론

연료는 공기(산소)에 의해서 쉽게 연소되는 것으로서 경제적으로는 값이 싸야하고 간편하게 이용되는 energy원이 될 수 있어야 한다.

옛부터 풍력 수력 댐나무 석탄 석유 천연 gas에서 부터 최근에는 태양열 조력 원자력 등이 energy원으로 우리 생활에 직접 간접으로 영향을 미치고 있어 좁게는 개인에서 부터 넓게는 지구적으로 energy원의 연구 개발에 주력을 다하고 있다.

연료의 효율적 이용을 위해 대량연료를 소비하는 곳은 국가에서 일관리사를 의무적으로 두어야 한다는 법적제재를 두고 있어 그 일제로는 연간 연료 사용량이 석유로 환산하여 250 ton~1500 ton 에 해당하는 곳은 일관리 기능사 2급, 1500~5000 ton 일 경우에는 일관리 기사 1급과 기능사 2급을 두도록 법으로 제정하여 연의 효율적 이용을 도모하겠끔 유도하고 있다. 어떤 장소에서나 언제든지 임의의 량의 연료를 쉽게 사용할 수 있는 점에서는 연료는 가장 우수한 energy원이라 할 수 있다. 이리한 연료들 얻기 위해 옛부터 사람들은 연구, 개발하고 있어 천연연료에서 가공연료, 석유 가스에 이르기까지 채취, 분리, 가공하여 보다 우수한 연료를 얻고 있다. 현 시점에서는 연소후에 발생하는 불 완전 연소물, 독성가스의 발생, 연소 찌꺼기등 공해들 이끄는 물질은 날개되어 수질오염, 대기오염 등을 이끄고 환경에 까지 오손시키게 되므로 이의 관리에 까지 국가사회는 법으로 다스리고 있는 실정이다.

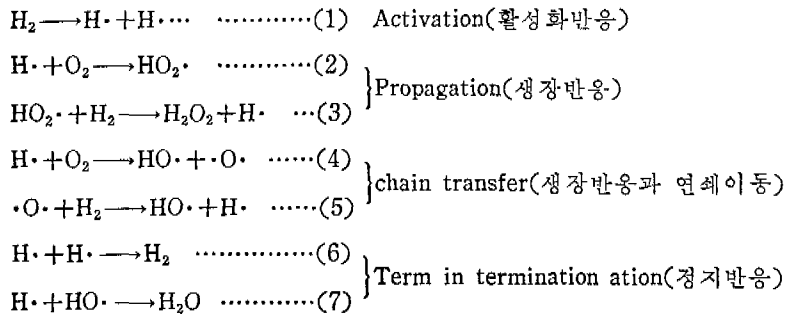
연료란, 첫째 나무를 잘라서 그대로 사용하는 것과 또 나무를 칩(chip)으로 하여 증가스화 또한 진류하여 숯을 만들어 연료 효율을 높일 수 있고, 둘째 석탄을 그대로 사용하는 것과 진류하여 석탄가스, 발생로 가스, 수성가스 등 가스화와 코크스, 연탄 등으로 이용하는 것과, 셋째 석유와 천연가스로진 원동기의 연료유인 가솔린, 등유, 중유, 방카유, 가스연료, L.P가스등 이들이 주종이 될 수 있다. 여하한 공기중에 포함되어 있는 피연소물(가연물)이 산화되므로서 연소가 일어나고 이때 발생되는 크고 작은 energy를 우리는 생활과 산업용 연료원으로 이용하는 것이다. 필자는 상기 연료중 분진에 해당하는 것이 산업사회에서 가끔 폭발하여 크고 작은 재해들 이끄므로 여기에 착안 비연에 방지될 수 있는 방안을 모색코자 가연성 분진의 폭발현상에 대한 연구 검토를 시도했으나 극히 일부에 해당하는 폭발압력과 연소후 가스조경 변화에 대한 고찰만을 검토하였다.

## 2. 본 론

### 2-1. 연소 이론

#### 1) 연소 메카니즘

일반적으로 가연성 기체의 연소는 연쇄반응(chain reaction)으로 진행되는데 활성화, 성장, 정지 또는 연쇄이동 반응이 일어난다. 수소가스가 연소된다고 보면 다음과 같은 기구로 일련의 반응이 계속된다고 보겠다.



연쇄이동에서 한개의 라디칼이 두개 이상이 되므로 연쇄가 분기 될 수 있다고 본다. 위와같은 일련의 연쇄반응이 기하급수적으로 커져서 격렬한 반응이 되고 이로 인해 폭발현상이 일어나게 된다.

실지 현상은 더 복잡하고 많은 경로를 통해서 연소 반응이 일어나고 CO, CH<sub>4</sub>, 석탄가스등인 原子 分子 경우는 더 복잡하게 된다.

#### 2) 연료의 연소과정

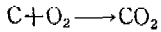
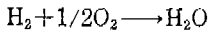
기체 연료는 두가지 형식이 있는데, 첫째 Burner에 점화한 것과 같은 경우는 기체연료가 분출하는 속도에 의해서 연소가 조절되어 정상적 반응인 것과, 둘째 기체 연료와 공기를 미리 혼합시켜 두고 여기에 점화할 경우는 연쇄는 분기상태가 되어 성장반응이 격렬하게 확대되고 발생한 열로 생성된 gas가 팽창하여 고온 고압으로 되어 폭발현상이 일어나게 된다.

액체연료는 그 표면이 가열 증발하여 공기와 혼합, 기체연료로 연소되는 경우가 많고 유지와 같은 고비점 액체는 가열하면 증발 될때까지 열분해 하여 그 분해 생성물이 기체로 되어 연소되기로 한다.

고체연료의 연소에서도 액체서와 같이 승화하든지 용융증발되는 기체 또는 열분해 되어 생기는 기체가 연소되는 경우와 불 완전 연소된 코-크스 또는 숯이 공기와 접촉하여 고체표면에서 반응이 일어나는 경우가 있는데 이때는 고체 표면적이 클수록, 공기의 공급이 클수록 반응은 격렬하게 된다. 따라서 미분상인 탄가루 또는 유기질 분말 금속분등 가연 고체도 공기중에 충분하면 여전에 의해 발화 온도까지 오르거나 전기 불꽃 등으로 폭발하게 된다.

#### 3) 연료의 연소성

연료는 탄소와 수소가 주성분으로 되어 있고 산소, 질소, 유황 등을 소량 함유하고 있다고 보겠다. 주성분인 탄소와 수소의 산화과정이 연소라고 하면 주된 반응은



로서 각 1kg을 연소시키는데 5.60m<sup>3</sup>와 1.87m<sup>3</sup>의 이론 산소를 요하게 된다.

다음에 고체 연료와 이론 공기량 및 착화온도 폭발범위를 들면 다음과 같다.

실지의 연소에서는 기체연료는 이론 공기량에 근사하게 맞아지나 액체와 고체 연료에서는 공기와의 접촉이 좋지 못하므로 이론 공기량 보다 상당히 많은 공기가 소요된다.

표. 고체연료와 이론 공기량 및 착화온도

연 료	이론 공기량 (m <sup>3</sup> /kg)	착화온도 °C
목 재(수분15%)	3.9	280~300
목 탄(수분 2%)	8.6	200~320
갈 탄(수분15%)	5.5	—
석 탄( " 5%)	7.8	330~450
무연탄( " 2%)	8.8	—
코-크스( " 2%)	7.9	450~550

## 2-2. 종류 및 특성

1) 분진종류; 분진으로서는 여러가지가 있으나 폭발하기 쉬운 산업용 물질에 해당하는 것은 다음과 같다.

농산물 분진; 소맥분, 감자가루, 전분, 설탕, 밀크, 코코아, 어분, Fish meal, 땅콩, 습, 습가루, 양모, 삼배, 복분(木紛) 등.

공업원료; 숯가루, 석탄가루, 천연수지, 고무가루, 유황가루, Naphthalene, 유연, 가죽조각, 분말비누, celluloid 조각, 금속분(Al, Mg, Zn), Cork 분, 톱밥, 발포제 등.

歐美에서는 밀, 전분, 설탕공장에서 분진폭발이 가끔 일어날 수 있고 한국 일본 등에서는 탄광, 방적, 방모공장에서 가끔 폭발사건이 일어난다. 합판공장에서 톱밥을 연료로 사용할 때 수송로에서도 외적불서로 인한 폭발 사례가 가끔 있다.

2) 분진폭발현상; 공기중에 가연성 분진이 떠있는 상태에서 전기스파크 또는 고온고체가 존재하면 발화 폭발할 수 있는데 폭발의 난, 이, 또는 격열정도, 착화정도 등은 가스폭발과 비슷하고 폭발을 일으키는 요소는 다음 세 가지로 요약될 수 있다.

① 분진의 화학적 성질과 조성; 화학구조라든지 반응성이 폭발에 크게 관계되고 산화 반응에 의해서 생기는 기체량, 연소열, 열량, 기체발생속도 등의 폭발에 대한 격열 정도에 영향을 미친다. 여기엔 유기약품, plastics 가루, Al분 등은 격렬한 폭발을 일으키나 휘발분이 적은 탄소질 가루는 연소는 하나 격렬한 폭발은 하지 않는다. 회분(Ash)이 많은 농산물이라든지 발열량이 적은 광물분은 폭발이 약하다.

② 입도와 입도분포; 공기중에 부유할 수 있는 정도의 분진이 대상이 되고 방치하면 자연낙하하여 퇴적하는 입도의 것인데 대체로 입경이 10 $\mu$ ~20 $\mu$  정도의 폭이 되겠으나 입자가 적을수록 폭발은 커지고 입경이 적을수록 부유시간이 길고 낙하속도가 늦기 때문에 공기중에 폭발성 혼합기를 생성하는 시간이 길므로 연소전과가 쉽다. 기계적 유동과 공기의 움직임(미풍)에 따라 쉽게 날리기 때문에 2차적 폭발이 일어날 수 있다.

③ 입자모양; 물리적 조건에 해당되는데 모양이 구상일 때보다 편편한 판상일 때가 폭발 유도를 약 10배 증대시킨다고 하나 어떤 분진은 그 표면이 산화피막을 형성하여 폭발을 곤란하게 하고 새로운 표면일 때는 발화가 쉽게 된다. 다음에 폭발압력과 분진농도에 대한 입자형상관계

를 나타낸다.

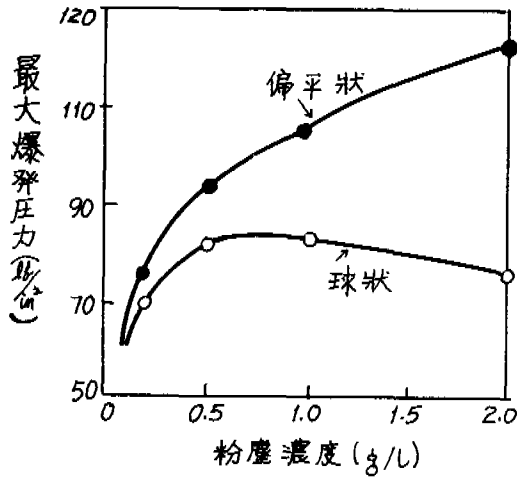


그림. Al 粉塵의 最大爆發壓力와 농도 粒子形狀에 대한 영향

### 2-3 폭발특성

폭발이 일어날 수 있는 성질로서는 ①분진 운(雲)의 상태와 분산방법 ②분진입자 정도와 농도 ③분진과 혼합되어있는 가연 가스의 종류와 농도 ④말화온도와 퇴적분진의 축열발화 ⑤폭발 압력과 압력상승 속도등이 폭발에 직접 관여하나 이중 폭발이 일어나면 그 결과 재해를 이르기게 되는 것은 폭발압력과 압력상승 속도에 기인하므로 이때는 분진농도를 하한계(L限界) 이하로 제어하는 것은 가스와는 달리 불가능하고 점화원을 제거할 수도 없게 된다. 폭발 분위기속의 산소농도를 최소로 하여 不燃域으로 할 수도 없으므로 이의 예방 대책으로서서는 피해의 확대 방지를 위해서 장치와 배관계에서 폭발을 피할 수 없을 경우는 이를 파괴하는 적절한 폭발압력 방산설비를 설계하여 부착시키거나 관리하여야 한다. 분진종류, 입도, 농도, 착화원 종류 및 시험용기의 크기 취입공기의 압력, 초압, 공기흐름의 교란상태, 산소농도, 휘발분, 가연가스의 농도, 불활성 분진과 회분 함유량등에 의해서 폭발 압력과 압력상승속도가 크게 변화하기 때문에 각기의 인자를 고려하여 폭발의 적열도를 확인할 필요가 있다.

## 3. 실험

Corn starch와 Diphenylamine을 대상으로 하여 분진의 농도를 크게하여 적열한 폭발과 보통 폭발을 시도하여 연소후의 가스조성 조사를 하였고 연소장치는 흡입식 실험장치인 일반장치를 사용하였다.

실험 ①corn starch를 격렬하게 폭발시킨 상태에서의 연소후 CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>와 H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> 조성과 농도관계는 아래 표와 같다.

실험 1 분석 결과

조성가스(Vol%)	CO	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub> +H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>
분진농도(g/l)				
1	21	11	8	1
2	24	12	10	1
3	22.5	12.5	8	1
4	20.5	12.8	7	1
5	19	13	7	1

실험 ② Diphenylamine을 보통 연소시켜 연소후 gas 조성과 농도관계

실험 2 분석 결과

조성가스(161%)	CO	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub> +H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>
분진농도(g/l)				
1	9	9	7	1.5
2	7.5	9.7	5	1.5
3	4.7	10	3.4	2
4	3.5	11.5	2.5	3
5	3.7	12	2	4

분류가 상이한 분진을 혼합시키면 그 혼합비율, 폭발압력, 압력상승속도는 거의 직선관계이나 압력상승속도는 일반적으로 폭발성을 갖는 분진이 높고, 소량 혼합시키면 압력은 급격히 저하된다. 가끔 환상탄 분진을 약취 방지제로서 유기 gas 흡수에 사용하는 인이 있는데 환상탄 자체는 연소만 하고 폭발은 하지 않는다. 어느정도 이상 유기 gas를 흡수하면 이것이 휘발분이 되어 적당한 폭발을 일으키게 된다.

#### 4. 결 론

분진폭발에는 착화→선구폭발→대폭발→잔여분 연소의 순서로 이에 의한 재해의 크기는 시설 크기에 따라 상이하다. 폭발이만 크고 작은 재해를 유발시키므로 기계적인 마찰열, 정전기, 부주의 또는 전기 스파이크, 시침보수시 용접 불꽃등이 선구 폭발이 되고 부근에 깔아 얹어있는 분진이 인시에 뜨서 분진농도가 크게 되고 여기에 인화 대폭발이 일어나게 된다. 그 방지책으로는 착화원의 제거와 분진의 제거라고 보아지나 공업사회에선 불가능한 일이므로 최대의 주의가 필요하다 하겠다.

〈화공과 교수·부교수〉

#### 〈참고문헌〉

1. 火災・變廢危險性の測定法, 日刊工業新聞社
2. 化學安全工學, 日刊工業新聞社
3. 燃燒機器工學, 日刊工業新聞社
4. 火藥學, 文運堂
5. 有機工業化學, 丸善刊行書