

분진폭발위험이 있는 설비의
공정시스템 선정에 관한 기술지침

2012. 7.

한국산업안전보건공단

안전보건기술지침의 개요

○ 작성자: 김 기 영

○ 개정자 : 한 우 섭

○ 제 · 개정 경과

- 2010년 10월 화학안전분야 제정위원회 심의(제정)
- 2012년 7월 총괄 제정위원회 심의(개정, 법규개정조항 반영)

○ 관련 규격 및 자료

- 영국 ICI사의 PSG No. 7 " Process Design of Systems with a Potential Dust Explosion Hazard"

○ 기술지침의 적용 및 문의

이 기술지침에 대한 의견 또는 문의는 한국산업안전보건공단 홈페이지 안전보건기술지침 소관 분야별 문의처 안내를 참고하시기 바랍니다.

공표일자: 2012년 7월 18일

제 정 자: 한국산업안전보건공단 이사장

분진폭발위험이 있는 설비의 공정시스템 선정에 관한 기술지침

1. 목적

분진을 취급하는 설비를 설계할 때 사전에 그 위험성을 파악하여 공정을 설계함으로써 그 설비에서 발생할 수 있는 폭발을 예방하는데 필요한 기술적인 사항을 제시하는데 그 목적이 있다.

2. 적용범위

이 지침은 분진을 취급하는 설비의 공정설계 시에 적용하며 1차 폭발 예방에 한한다. 다만, 2차 분진폭발 예방이나 실험에서 폭연 또는 폭굉을 일으키는 물질의 경우에는 적용하지 아니한다.

3. 용어의 정의

(1) 이 지침에서 사용되는 용어의 정의는 다음과 같다.

(가) “그룹 I 분진”이라 함은 실험실의 시험기구 내에서 분진에 점화하였을 때 화염을 발생시키며 계속하여 타는 분진을 말한다.

(나) “그룹 II 분진”이라 함은 실험실의 시험기구 내에서 분진에 점화하였을 때 화염을 발생시키지 않는 분진을 말한다.

(다) “폭연 (Deflagration)”이라 함은 연소에 의한 폭발 충격파가 미반응 매질 속에서 음속 이하의 속도로 이동하는 폭발현상을 말한다.

(라) “폭굉 (Detonation)”이라 함은 연소에 의한 폭발 충격파가 미반응 매질 속에서 음속보다 빠른 속도로 이동하는 폭발현상을 말한다.

(마) “최대벤트압력”이라 함은 억제제를 투입하여 폭발억제 시에 밀폐공간에서 발생된 최대압력으로, 밀폐공간의 가장 약한 구조부분이 견딜 수 있는 최대압력을 말한다.

- (2) 그 밖에 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 특별한 규정이 있는 경우를 제외하고는 「산업안전보건법」, 같은 법 시행령, 같은 법 시행규칙 및 「산업안전보건기준에 관한 규칙」에서 정하는 바에 의한다.

4. 공정시스템 선정 방법

4.1 점화시험 및 설계

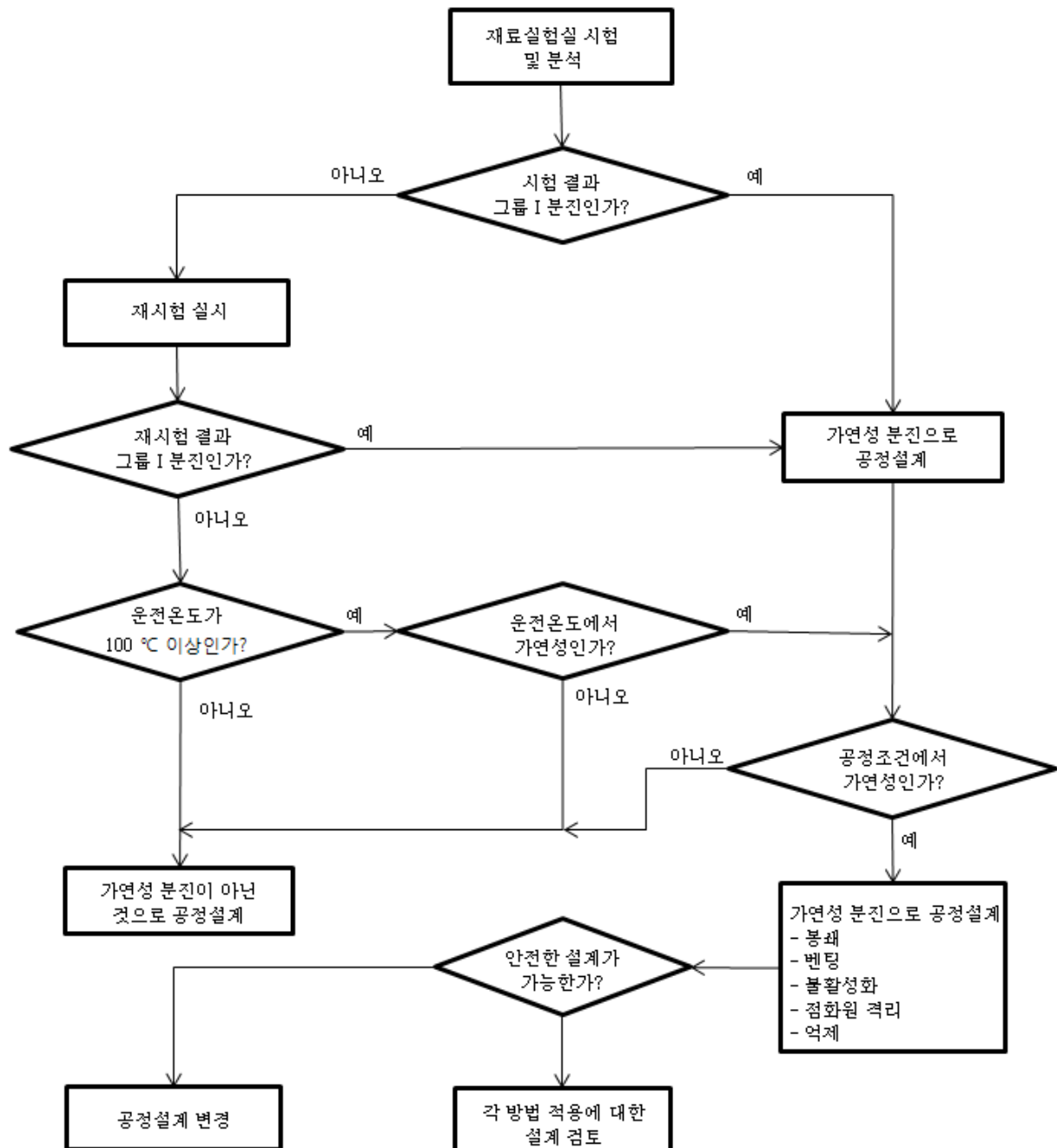
- (1) 분진을 취급하는 설비를 설계하고자 하는 경우에는 설계에 들어가기 전에 실험실에서 분진에 점화시험을 실시하고 그 결과를 설계에 반영하여야 한다. 만약 실험할 재료가 없는 경우에는 가연성 분진으로 간주하고 설계한다.
- (2) 실험 데이터를 활용하여 <그림 1> 시험 및 설계 논리 흐름도에 따라 기본설계 개념을 확정한다.
- (3) 그룹 II 분진으로 1차 시험에서 분류된 시료는 60 μm 이하로 분쇄하여 건조시킨 후 다시 시험을 실시한다.
- (4) 분진제조공정의 운전온도가 110 $^{\circ}\text{C}$ 이상으로 예상되는 경우에는 예상운전온도에서 시험을 실시한다.
- (5) 공정조건에서 가연성 여부를 시험하는 경우에는 다음 사항을 검토하여야 한다.

(가) 공정에서의 분진 농도

- ① 가스와 같이 가연성 분진도 폭발범위를 가지고 있으며 폭발하한은 보통 10~60 g/m^3 정도이다.
- ② 폭발상한은 높은 분진 농도를 유지하기가 어려우므로 안전상 중요하지 않다.

(나) 분진의 크기 및 분포

- ① 점화 민감도는 분진의 크기가 작을수록 커진다.
- ② 분진의 크기가 200~500 μm 보다 작으면 분진운(Dust cloud)을 형성한다.
- ③ 분진의 크기는 폭발하한에 별 영향을 주지 않으나 점화에는 민감하다.



<그림 1> 점화시험 및 설계 논리 흐름도

(다) 수분 함량

① 수분 함량에 따른 가연성 및 점화 민감도에 대한 영향은 다음과 같다. 다만 친수성 분진은 제외한다.

- 1~2 % 이하 ; 약간 영향이 있음
- 5~10 % 이상 ; 점화 민감도가 감소함

- 25 % 이상 ; 분진이 현탁액 상태와 비슷하여 영향이 거의 없음

- ② 가연성 시험은 공정 내에서 발생할 수 있는 최소 수분 함량조건에서 실시하여야 한다.

(라) 공정조건

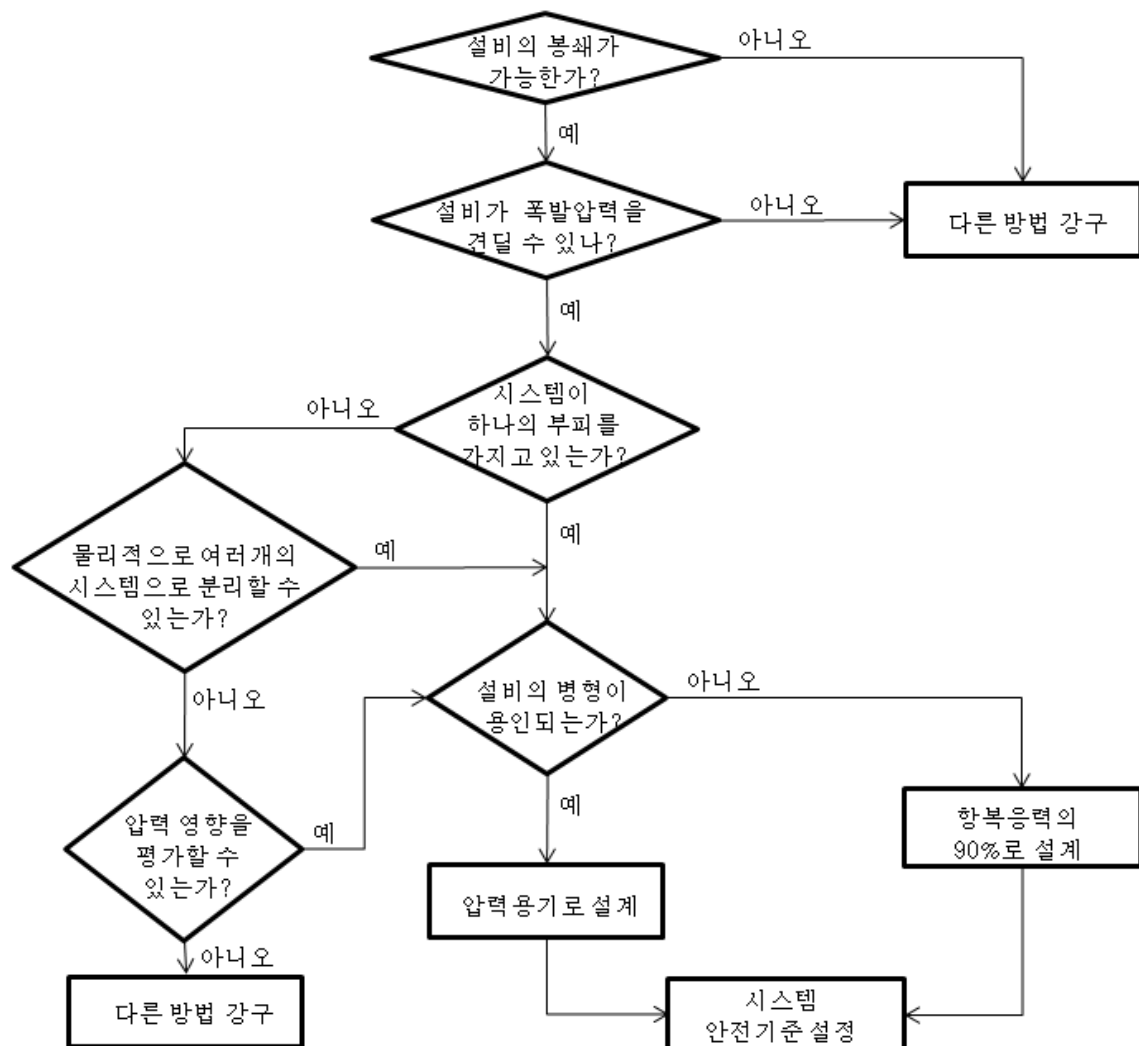
- ① 분진 폭발에 영향을 주는 공정조건은 압력, 온도 및 취급 량이다.
- ② 분진취급설비의 운전압력은 대부분 200~300 kPa로 폭발에 커다란 영향을 주지 않으나 압력이 높아지면 영향을 받는다.
- ③ 가연성 분진의 점화 민감도는 작은 온도 증가에도 크게 영향을 받는다.
- ④ 주어진 농도에서는 분진의 양이 가연성 및 점화 민감도에 영향을 주지 않는다.
- ⑤ 0.2 m³ 미만의 분진량은 폭발에 거의 영향을 주지 않는다.

(마) 하이브리드 혼합물(Hybrid mixture)

- ① 인화성 가스 및 가연성 분진의 혼합물은 혼합물이 아닌 경우 보다 점화가 쉽게 된다.
- ② 가스 및 분진의 혼합물은 각각의 폭발하한 미만에서도 화재·폭발을 일으킬 수 있다.

4.2 봉쇄(Containment)시스템

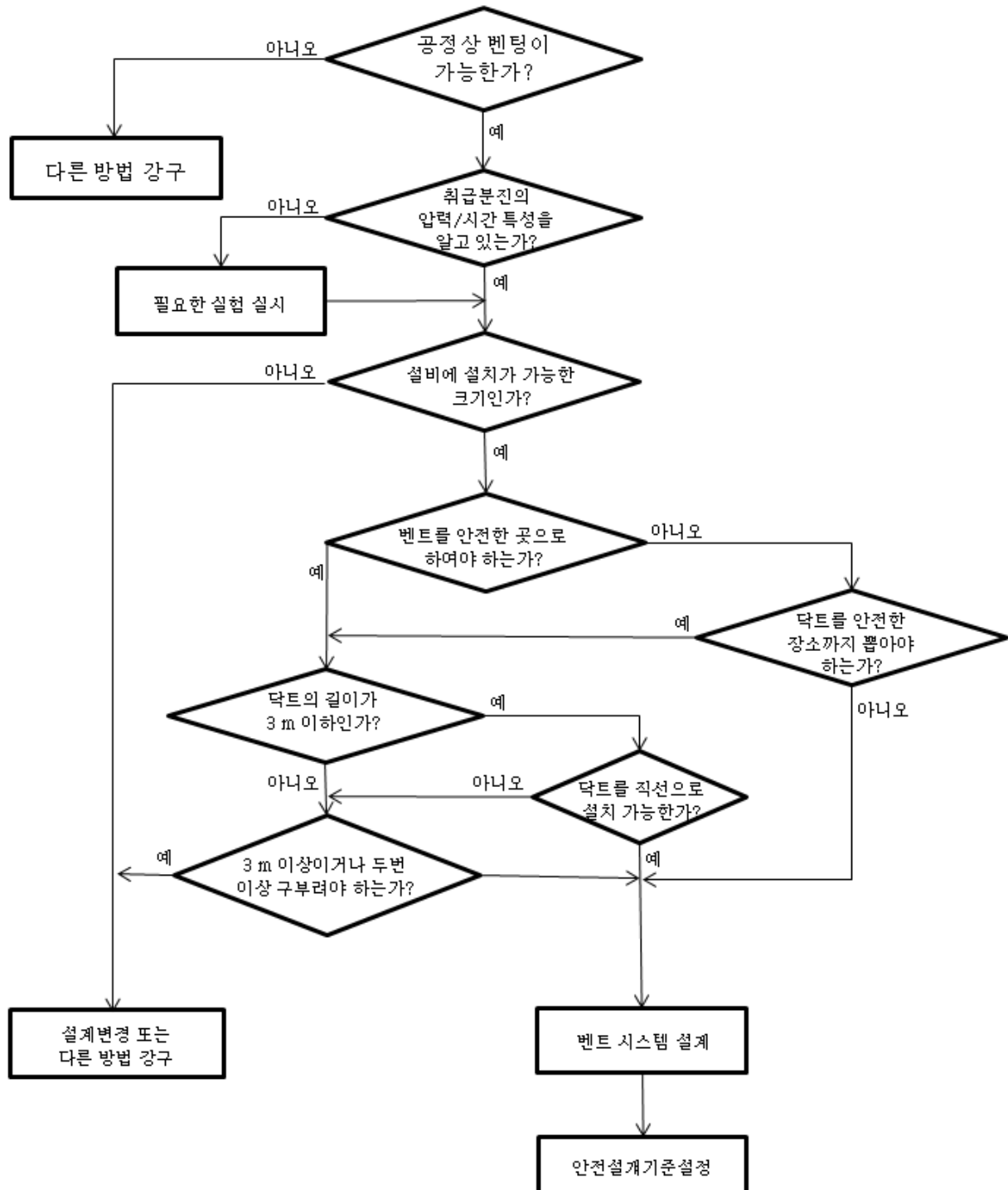
- (1) 가연성 분진 폭발에 대비하여 봉쇄시스템을 사용하는 경우에는 경제성을 고려하여야 한다. 봉쇄시스템 논리 흐름도는 <그림 2>를 참조한다.
- (2) 대기압에서 분진 폭발이 일어나면 그 압력이 약 0.8~1.0 MPa 까지 올라간다.
- (3) 독성물질을 취급하는 경우에는 배출가스로 인한 예기치 못하는 위험이 있기 때문에 봉쇄시스템을 사용한다.
- (4) 물리적으로 여러 개의 시스템으로 분리하는 방법으로 로터리 밸브, 슬라이드 밸브 및 스크류 공급기(Feeder) 등을 설치한다.
- (5) 부피가 크거나 닥트의 길이가 긴 경우에는 압력충첩(Piling) 영향으로 초기 압력의 10배 이상으로 올라갈 수 있다.



<그림 2> 봉쇄시스템 논리 흐름도

4.3 벤팅시스템

- (1) 안전 확보를 위하여 벤팅시스템을 설치하는 경우에는 경제성과 공정의 적합성, 즉 벤트 관을 통해 독성물질 배출이 가능한 가를 고려하여야 한다. 벤팅시스템 논리 흐름도는 <그림 3>을 참조한다.
- (2) 독성물질 취급 시에는 봉쇄시스템 및 억제시스템을 사용하는 것이 좋다.
- (3) 취급분진의 압력/시간 특성 시험은 1.2 L 용량의 하트만 봄베(Hartmann bomb)를 이용하여 실시한다.
- (4) 최대압력상승속도의 절대 값은 벤트 크기 계산 시에는 필요하지 않다.



<그림 3> 벤팅시스템 논리 흐름도

(5) 압력/시간 특성 시험은 주로 60~70 μm 크기의 분진을 사용한다.

(6) 압력상승속도에 영향을 주는 공정 조건은 다음과 같다.

- (가) 공정온도가 50 ℃ 이상인 경우에는 압력상승속도에 많은 영향을 준다.
- (나) 200~300 kPa 이상에서는 분체이송을 거의하지 않으므로 압력에 대한 영향은 거의 받지 않는다.
- (다) 압력상승속도는 분진의 농도에 비례하여 상승하며 화학양론 농도에서 최대치가 된다.
- (라) 수분 함량에 따른 영향은 4.1 항 (5) 호 (다)목을 참조한다.
- (7) 설비에 설치 가능한 벤트 크기는 벤트면적, 설비의 형태 및 벤트 끝단의 위치 등에 따라 영향을 받는다.
 - (가) 설비의 형태는 길이와 지름의 비가 1인 경우가 가장 효율적이다.
 - (나) 닥트는 벤트 끝단까지 화염의 진행에 영향을 받지 않도록 설치하여야 한다.
- (8) 벤트에서의 배출은 옥외의 안전한 장소로 하여야 한다. 다만, 옥내에 근로자가 출입하지 않거나 2차 폭발의 위험이 없는 경우에는 옥내로 배출할 수도 있다.
- (9) 벤트는 근로자에게 나쁜 영향을 주지 않으며 화재·폭발의 위험이 없는 장소로 시켜야 한다.
- (10) 벤트 닥트의 길이가 3 m를 초과하면 압력강하가 많다. 또한 길이를 줄이는 것이 어려운 경우에는 설비의 강도를 높여야 한다.

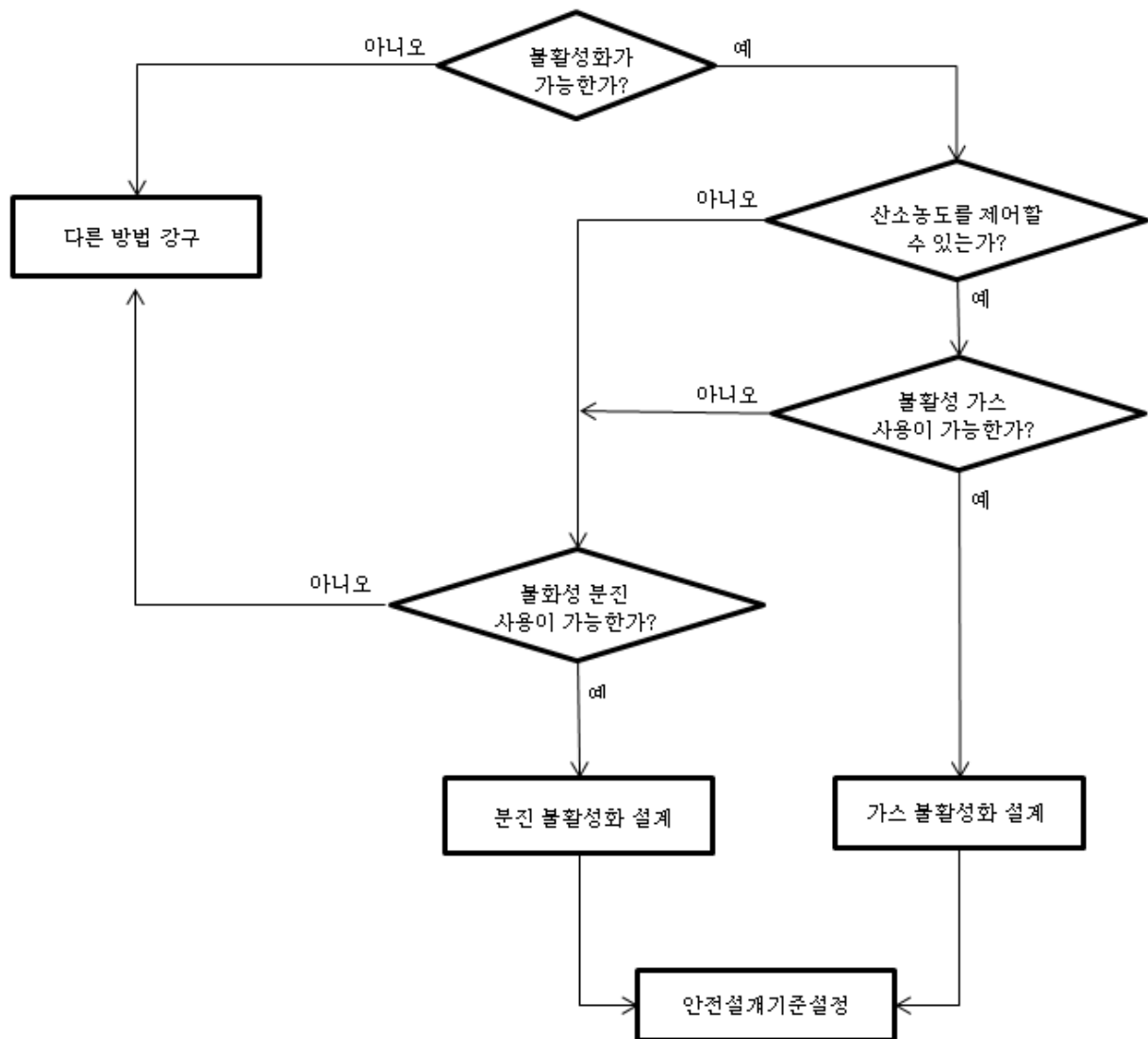
4.4 불활성화(Inerting)

- (1) 안전 확보를 위하여 불활성화 시스템을 사용하는 경우에는 경제성과 운전성 및 다음 사항을 함께 고려한다. 불활성화 논리 흐름도는 <그림 4>를 참조한다.
 - (가) 불활성 가스의 가격
 - (나) 불활성 가스의 누출속도
 - (다) 질식 위험
 - (라) 모니터링 시스템의 신뢰성 및 양립성
- (2) 분진 불활성화 시스템인 경우에는 70~80 %의 불활성 분진이 필요하다.

(3) 가스 불활성화 시스템인 경우 불활성 가스의 최소산소농도는 다음과 같아야 한다.

(가) 800 ℃ 이상에서 시험하는 경우 ; 부피로 4~7 % 이하

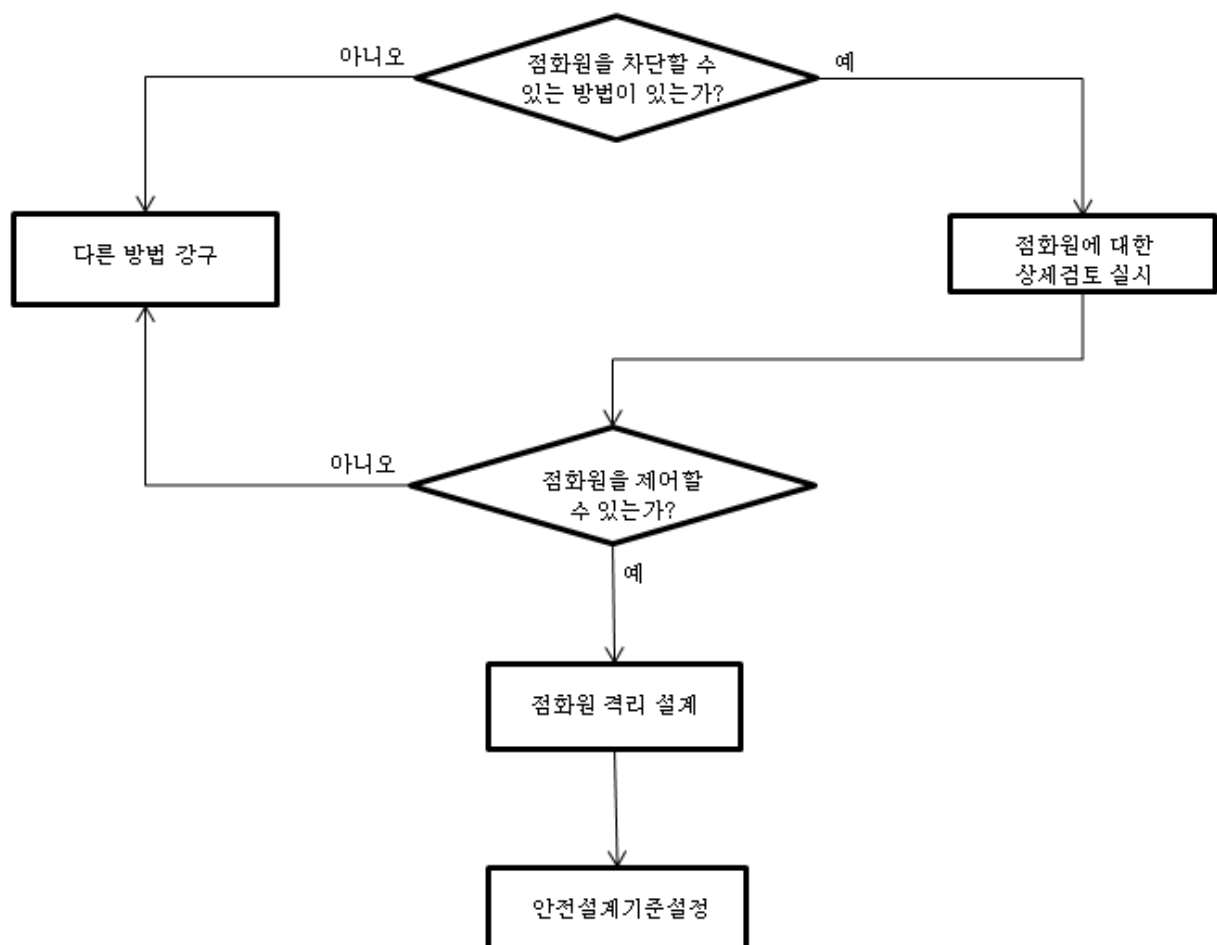
(나) 대기압인 경우 ; 부피로 8~14 % 정도



<그림 4> 불활성화 논리 흐름도

4.5 점화원 차단

- (1) 점화원을 완벽히 차단하는 것은 불가능하므로 이 방법은 안전 측면에서 허용이 안 될 수도 있다. <그림 5>에 제시된 점화원 차단 논리 흐름도는 점화원을 차단하는 하나의 방법을 나타낸다.



<그림 5> 점화원 차단 논리 흐름도

- (2) 점화원에는 뜨거운 표면, 정전기, 마찰열, 충격, 용접 불꽃, 열분해 등이 포함된다.
- (3) 뜨거운 표면에 의한 점화는 표면의 온도 및 외형, 접촉시간, 표면에 접촉하고 있는 물질의 오염상태 및 화학적 성질 등에 좌우된다. 또한 표면온도가 150 ℃ 이하에서는 점화가 거의 되지 않는다.
- (4) 마찰열에 의한 점화가 분진폭발 원인의 25 % 정도 차지한다.

(5) 정전기는 전도체에 의한 스파크가 대부분이며 이는 접지를 통하여 제거할 수 있다.

(6) 비 전도체에 분진을 충전하는 경우 다음과 같은 것이 점화의 주된 원인이다.

(가) 대량의 분진충전

(나) 낙뢰

(다) 플라스틱 표면의 스파크

(라) 불완전한 접지

(7) 알루미늄과 산화철의 테르밋(Thermite)에 의한 점화 원인은 다음과 같은 것이 있다.

(가) 경금속 사용

(나) 녹

(다) 충격

4.6 억제(Suppression)시스템

(1) 억제시스템 설계 시에 고려하여야 할 사항은 다음과 같은 것이 있다. 억제시스템 논리 흐름도는 <그림 6>을 참조한다.

(가) 폭발시간

자동폭발억제시스템은 순간적으로 폭발징후를 감지하여 억제제를 방출시켜야 한다.

(나) 적합성(Compatibility)

각 경우별로 공정유체와 억제제가 접촉할 때 더 위험한 상황이 발생하지 않는지 검토하여야 한다.

(다) 설비의 크기 및 형태

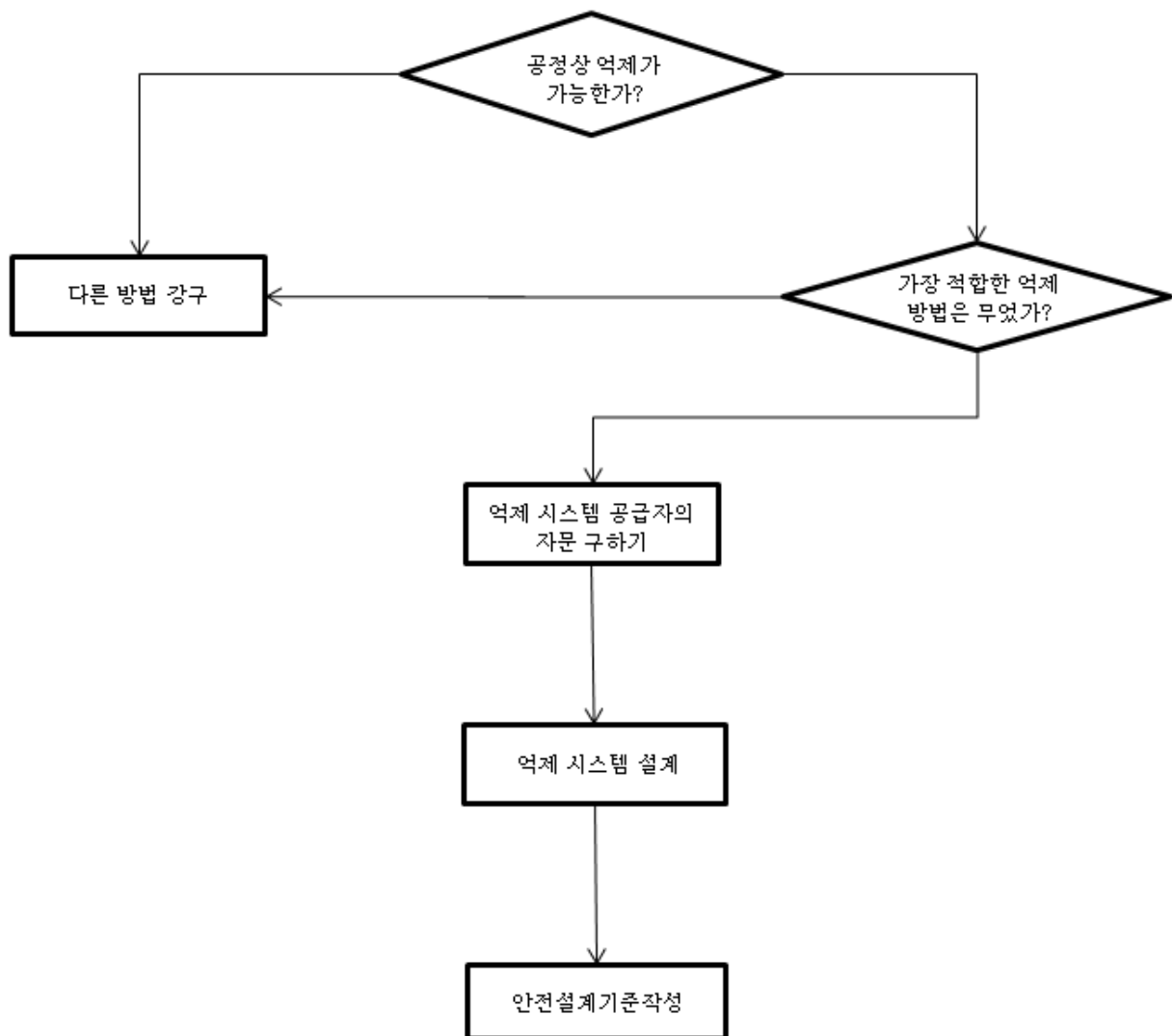
① 설비의 크기가 억제시스템의 선정에 커다란 영향을 준다.

② 설비의 용량은 50 m³ 이하로 하는 것이 좋다.

③ 억제제는 설비 내부에 골고루 분사되도록 제작·설치하여야 한다.

(라) 설계압력

- ① 억제시스템에서 폭발 시에 도달할 수 있는 최대압력은 정상운전압력, 난류도, 억제제의 특성 및 부피, 분진의 압력/시간 특성 등에 좌우된다.
- ② 일반적으로 액체 억제제를 사용하는 경우 최대벤트압력은 20 kPa 정도이며 최대 40 kPa 이하이다. 그러나 분말 억제제를 사용하는 경우에는 최대벤트압력이 100 kPa 정도까지 상승한다.



<그림 6> 억제시스템 논리 흐름도

(2) 억제시스템 설계 시 고려하여야 사항은 다음과 같다.

(가) 공정압력범위

(나) 공정 및 설비의 상세설계

KOSHA GUIDE
P - 49 - 2012

(다) 피해야 할 대기환경 요구사항

(라) 유지 및 검사 비용

(마) 신뢰성

(바) 억제제 사용에 대한 근로자의 대응