Leybold

진공 안전 설명서

안전 설명서

작동 설명서 **300314311_014_C1**

원본 지침의 번역본

저작권 공지

©Copyright 2026. All rights reserved.

발행: 9/9/2026

목차

1 소개 **6**
1.1 본 출판물 범위 6
1.2 위험 분석 7
1.3 위험이 발생하는 경우 7
1.3.1 설계 7
1.3.2 구조 8
1.3.3 작동 / 시운전 8
1.3.4 유지 보수 / 해체 8
2 위험 물질의 화학원 **10**
2.1 유해 공정 가스 10
2.2 화학 반응 10
2.2.1 동종 반응 10
2.2.2 이종 반응 10
2.2.3 교차 오염 10
2.3 가연성/폭발성 물질 12
2.3.1 폭발 위험 13
2.3.2 잠재적인 폭발성 가스 또는 증기 혼합물의 원인 13
2.3.3 가연성 공간 방지 14
2.3.4 누출 방지(대기 공기 누출) 17
2.4 산화제 17
2.5 발화성 물질 18
2.6 독성 물질 19
2.7 부식성 물질 20
2.8 요약 - 위험 물질의 화학원 22
3 위험 물질의 물리적 원인 **23**
3.1 과압 펌프 배기 23
3.1.1 배기 과압으로부터 보호 23
3.1.2 배기구 막힘 24
3.2 흡입구 과압 24
3.2.1 압축 가스 공급장치 및 배압 24
3.2.2 퍼지 시스템의 과압 25
3.2.3 잘못된 펌프 작동 25
3.3 온도 26
3.4 요약 - 위험 물질의 물리적 원인 26

목차

4 시스템 설계. **28**

4.1 시스템의 압력 정격. 28

4.2 정체 부피 제거. 28

4.3 배기 추출 시스템. 29

4.4 화염 방지기 보호 시스템 사용(HazLoc systems). 29

4.5 진공 시스템 내 물 누출. 29

4.6 배기 가스의 역류. 29

4.7 점화원. 29

4.8 요약 - 시스템 설계. 30

5 일반적인 관행. **32**

5.1 파이프 내 침전물 형성. 32

5.2 주파수 인버터 사용 - 암호 사용. 32

5.3 흡입구 밸브 위치. 32

5.4 고온 트랩. 32

5.5 저온 트랩. 33

5.6 응축기. 33

5.7 시스템 무결성 수준. 33

6 올바른 장비 선택. **34**

6.1 오일 밀봉 회전식 베인 및 피스톤 펌프. 34

6.2 건식 펌프. 35

6.3 파이프라인 설계. 35

6.3.1 Bellows. 35

6.3.2 플렉시블 파이프라인. 35

6.3.3 앵커 지점. 36

6.3.4 씰. 36

6.4 물리적 과압 보호. 36

6.4.1 압력 안정. 36

6.4.2 과압 알람/트립. 36

6.4.3 압력 조절기. 36

6.4.4 화염방지기. 36

6.5 퍼지 시스템. 37

6.6 요약 - 올바른 장비 선택. 37

7 작동 절차 및 교육. **38**

목차

8 진공 시스템의 개조. **39**

9 요약. **40**

1 소개

1.1 본 출판물 범위



경고:

본 설명서와 관련 펌프 지침 설명서에서 제공하는 안전 지침을 준수하지 못할 경우 심각한 해를 입거나 사망에 이를 수 있습니다.

본 문서는 펌프 및 펌핑 시스템 사용자들의 참고를 위해, 진공 펌프 및 진공 시스템의 사양 설정, 설계, 작동 및 유지 보수에 관한 당사의 경험을 기록한 것입니다. 본 문서는 발생할 수 있는 일부 잠재적 위험을 식별하며, 안전 위험의 가능성을 최소화하도록 돕고 위험 발생시 적절히 대응하기 위한 가이드라인을 제공합니다. 유해한 공정 화학물질의 사용이 증가함에 따라 유해한 상황이 발생할 가능성이 커지므로, 이는 특히 중요한 문제입니다.

본 문서에 포함된 정보는 모든 사항을 망라한 목록으로 간주될 수 없으며, 대신 예측 가능한 위험 요소를 알리기 위한 것입니다. 진공 장비를 사용하는 모든 사용자는 규제 요건을 준수하고 있음을 입증하기 위해 반드시 자체적으로 유해성/위험 분석을 수행해야 합니다.

본 문서의 구성은 다음 영역에서의 안전을 고려하고 있습니다.

- 공정 물질
- 압력
- 시스템 설계
- 장비 선택
- 시스템 작동 및 교육

위험을 최소화하기 위해서는 이 모든 영역에 대해 신중한 검토가 필요합니다.

본 문서는 진공 펌프와 진공 시스템을 명시, 설계, 설치, 작동 또는 유지 보수하는 사람을 대상으로 합니다. 본 문서를 다음 문서와 함께 읽을 것을 권장합니다.

- 장비와 함께 제공된 지침 설명서
- 공정 가스 및 화학 물질 공급업체가 제공한 정보
- 안전 부서에서 공급한 정보
- 펌프 설명서
- 시스템 설명서
- HAZOP 분석
- 물질 안전 데이터 시트
- 일반 기준, 기계류 지침 등

당사는 여기에 설명된 정확성, 사례, 안전 및 정보 결과, 절차 또는 응용분야에 대한 사항이 무엇이든지 어떠한 책임이나 보증도 부인합니다. 당사는 본 프레젠테이션에 포함된 정보에 의존하거나, 제공된 정보가 어떠한 측면에서든 부정확하거나 불완전함으로 인해 발생하는 어떠한 손실 또는 손해에 대해서도 책임을 지지 않습니다. 여기 포함된 정보는 자문용이라는 점을 참고하십시오. 당사가 위험 물질 사용으로 인한 잠재적 위험 물질 관련 지원을 제공할 수 있지만, 최종 사용자는 작동 및 환경에 대한 위험 평가 및 위험 분석을 실행하고 정부 규제를 준수할 책임이 있습니다.

공정 응용에 대한 귀사 제품의 적합성 또는 귀하의 진공 펌프나 진공 시스템의 안전 측면에 대한 자세한 정보를 알아보려면 공급업체나 당사에 문의하십시오.

1.2 위험 분석

위험 분석 기술은 이용 사용 중인 시스템의 위험과 고장나거나 장애가 있는 상태에서 발생할 수 있는 위험의 식별 및 분석에 대한 구조화된 접근법을 제공합니다. 그러한 기술은 위험 관리에 대한 경로를 제공하며, 이러한 기술 사용이 규정/법적 요건일 수 있는 경우가 많습니다. 완전한 효과를 거두려면, 위험 분석을 시스템 초기 설계시 시작해야 하며, 시스템의 설치 및 작동은 물론 유지 보수와 해체 단계에 이르기까지 지속되어야 합니다.

위험 분석 기술의 세부 연구는 본 글에 포함되어 있지 않습니다. 이외 위험 분석 기술이 설명된 글이 많습니다. 화학 물질 처리 산업에서 일반적으로 사용하는 기술로는 HAZOP(Hazard and Operability Study)가 있습니다. 잠재적 위험 및 작동 문제의 식별과 관련된 위험 분석의 절차입니다.

일반적으로 위험 분석은 위험 유형, 위험 심각도 및 위험 발생 가능성에 대한 정보를 생성합니다. 이러한 정보는 수용 가능 수준으로 위험 물질의 효과를 낮추는 가장 좋은 방법을 결정하는 데 사용할 수 있습니다. 위험 물질의 원인에 따라, 위험 물질을 제거하고, 위험 심각도 및/또는 발생할 수 있는 위험 가능성을 줄이십시오. 그러나 위험 물질이 완전히 제거될 가능성은 희박합니다.

최선의 위험 물질 관리법을 결정할 때 위험 물질의 모든 가능 효과를 고려해야 합니다. 예를 들어, 작은 가열 표면은 화상을 일으킬 수 있으므로 작동자에게 경미한 위험을 일으킬 수 있습니다. 화상 발생 가능성을 줄이기 위해, 시스템 설계자는 뜨거운 표면에 대한 경고를 눈에 보이게 제공하거나 뜨거운 표면에 가까이 갈 수 없게 할 수 있습니다. 그러나, 시스템의 위험 분석은 또한 동일한 뜨거운 표면이 가연성 증기의 점화원을 제공할 수 있음을 나타내며, 이는 폭발 또는 독성 증기 구름 방출로 이어질 수 있습니다. 점화 가능성을 줄이기 위해 시스템 설계자는 뜨거운 표면의 온도를 낮추거나 가연성 증기가 뜨거운 표면에 닿지 않게 해야 합니다.

1.3 위험이 발생하는 경우

모든 시스템 수명 위상에서 위험한 상황이 발생할 수 있습니다. 위상은 다음과 같습니다.

- 설계
- 구조
- 작동 / 시운전
- 유지 보수 / 해체.

각 위상마다 발생하는 문제 유형이 아래 요약되어 있습니다. 어떤 상황에서든지 시스템에 있는 장비와 공정/응용 분야를 완전히 이해할 경우에만 시스템의 위험 상황을 최소화할 수 있다는 점을 인지해야 합니다. 의심될 경우, 공급업체에게 자세한 정보를 문의하거나 자문을 구하십시오.

1.3.1 설계

시스템을 설계할 때, 응용 분야에 맞는 장비 유형을 선택해야 합니다. 다음 사항을 고려해야 합니다.

- 장비의 기술 사양
- 장비 구축시 사용된 물질
- 장비와 사용되는 작동 소비재(윤활유 및 작동유 등)
- 공정 조건 및 물질.

또한 응용 분야에 대한 일반적인 적합성 여부를 고려해야 하고 항상 지정된 작동 조건 내에서 사용해야 합니다.

설계 절차를 수립해 설계시 오류를 최소한으로 줄여야 합니다. 그러한 절차에는 독립적인 설계 계산 확인은 물론 설계 매개변수에 대한 상의를 포함해야 합니다.

위험 분석은 항상 설계 검토의 일부여야 합니다. 시스템에 장비 사용을 신중하게 고려해 수많은 잠재 위험을 제거할 수 있습니다.

1.3.2 구조

숙련되고 적합한 사람의 사용과 품질 보장 절차로 구축 중 위험 발생 가능성을 줄이십시오. 숙련된 사람은 조립 중에 필요한 올바른 구성요소를 식별할 수 있고 고장나거나 잘못 제조된 구성요소와 장비를 식별할 수 있습니다. 품질 보장 절차를 통해 열악한 작업을 식별하고 시정하며 설계 사양을 엄격히 따를 수 있도록 합니다.

직원은 독성, 부식성, 가연성, 질식성, 발화성 또는 기타 위험 물질을 펌핑, 생성하거나 해당 물질이 있을 수 있는 시스템에 새 장비를 설치할 때 특별히 주의하고 모든 안전 예방 조치를 준수해야 합니다.

전기 장비는 숙련된 / 자격을 갖춘 직원이 적절한 모든 현지 및 국가 전기 규정에 따라 설치해야 합니다.

1.3.3 작동 / 시운전

노후, 부적절한 사용이나 열악한 유지 보수로 인해 발생한 장비와 구성요소 고장으로 작동 중 위험한 상황이 발생할 수 있습니다. 장비 사용(및 유지 보수) 시 적절한 교육으로 이런 위험한 상황의 가능성을 줄이십시오. 필요할 경우, 당사와 다른 공급업체에서 사용 설명서, 교육 및 판매 후 서비스 형태의 기타 양식에서 공급하는 정보를 참조하십시오.

1.3.4 유지 보수 / 해체



경고:

모든 유지 보수 절차를 포함하는 포괄적인 위험 분석을 수행해야 합니다. 잠재적인 위험과 필요한 보호 장비를 고려하지 않고는 어떠한 유지 보수 작업도 수행하지 마십시오.

직원이 위험 물질에 접촉하지 않게 하기 위해, 독성, 부식성, 가연성, 발화성, 질식성 또는 기타 물질을 펌핑 또는 생성한 시스템의 유지 보수 중에는 각별한 주의를 기울이고 모든 안전 주의사항을 준수해야 합니다.

모든 진공 시스템은 언젠가 유지 보수가 필요하며, 이러한 유지 보수의 품질은 시스템의 안전성에 상당한 영향을 미칠 수 있습니다. 위험 분석 시에는 유지 보수 절차의 세부 사항을 고려하여, 이러한 절차가 위험한 상황을 초래하지 않도록 해야 합니다. 다음과 같은 사항들을 고려해 보아야 합니다.

- 진공 시스템 내부는 건강에 해로울 수 있는 공정 물질로 오염되어 있을 수 있습니다.
- PFPE 오일과 같은 특정 물질이 공정 가스와 함께 사용하기 위해 선정되었을 수도 있습니다. 유지 보수 과정에서 이러한 물질을 교체할 경우, 새로운 위험 상황이 발생할 수 있습니다.
- 예기치 않게 작동을 멈춘 펌프에는 유해한 공정 가스가 포함되어 있을 수 있으며, 이 경우 펌프를 제거할 때 작업자를 보호하기 위해 특별한 절차가 필요할 수 있습니다.
- 진공 시스템 내부의 과압 상태는 구성 요소가 제거되어 압력을 받아 외부로 밀려나기 전까지는 발견되지 않을 수도 있습니다.
- 진공 시스템에 대한 유지 보수 작업을 시작하기 전에 반드시 전기 장비를 차단해야 합니다.

- 세척 솔벤트가 진공 시스템에 미치는 영향을 고려해야 하며, 특히 해당 솔벤트가 부식성이 있거나 인화성인 경우에는 더욱 주의해야 합니다.

계획된 유지 보수 프로그램과 위험 물질에 오염될 수 있는 구성요소의 안전한 폐기를 염두에 두어야 합니다. 모든 장비의 사용 설명서에서 제공하는 유지 보수 자문에 따라 모든 장비를 안전하고 안정적으로 작동해야 합니다. 일반적으로 HazLoc 시스템에는 추가 요구사항이 있습니다.

2 위험 물질의 화학원

2.1 유해 공정 가스

유해 가스 및 증기는 다음 중 하나 이상의 특성을 가질 수 있는 물질로 정의할 수 있습니다.

- 가연성
- 부식성
- 발화성
- 방사성
- 독성
- 폭발성
- 산화제

이러한 물질은 유해한 성질을 가지고 있으므로, 그 특성과 진공 시스템의 안전에 미칠 수 있는 영향을 반드시 고려해야 합니다. 진공 시스템을 지정할 때 이러한 종류의 공정 가스에 대해 진공 장비 공급업체와 상의하는 것은 일반적인 일입니다. 그러나 다음 사항들은 몇 가지 위험 요소에 대한 개요를 제공합니다.

참고**:**
진공 시스템 내부에서 비유해성 공정 가스가 반응할 경우, 때로는 유해한 것으로 간주될 수 있는 부산물이 생성될 수 있습니다.

2.2 화학 반응

일반 사용 중 화학 반응, 진공 시스템 내에서 발생할 수 있는 오용 또는 고장 상태의 모든 가능성을 신중하게 고려해야 합니다. 특히, 폭발로 이어질 수 있는 가스와 증기 관련 반응을 신중하게 고려해야 합니다. 지금까지 사례를 보면 시스템 설계자가 당초 고려하지 않은 물질들이 개입되었거나, 해당 장비의 고장 형태가 고려되지 않은 상태에서 폭발이 발생했습니다.

2.2.1 동종 반응

동종 반응은 2개 이상의 가스 분자 간의 가스 위상에서 발생합니다. 가스 연소 반응이 일반적으로 이러한 형태입니다. 예를 들어, 실란(SiH_4) 및 산소(O_2) 간의 반응은 항상 이종입니다. 따라서, 제조 공정 중에 이러한 반응이 있을 경우, 공정 압력과 반응 물질 농도를 주의해서 제어해 과도한 반응 속도 발생을 막아야 합니다.

2.2.2 이종 반응

이종 반응은 가스 분자가 표면으로 흡착할 때만 발생하지만 저압에서 가스에 반응하지 않기에 단단한 표면이 있어야 합니다. 이러한 반응 유형은 위상 챔버 내에서 발생하는 반응 효과를 최소화하고, 입자 생성을 줄이며, 오염 가능성을 줄이기 때문에 특정 공정에 이상적입니다.

대부분의 이종 반응은 보통 대기압보다 낮은 고압에서 동종이 됩니다. 이는 공정 챔버의 가스가 진공 펌프로 인해 압축되었을 때 반응하는 방식과 관련되는 방법을 의미합니다.

2.2.3 교차 오염

진공 시스템은 종종 서로 다른 공정 가스가 사용되는 공정으로 전환되는데, 이는 장비가 다른 공정에 재사용되거나, 심지어 특정 공정 내의 서로 다른 공정 단계에서 사용되기 때문일 수 있습니다.

이러한 모든 경우에서, 한 공정의 공정 가스/증기/물질과 다른 공정의 공정 가스/증기/물질 간의 교차 오염 가능성을 고려해야 하며, 경우에 따라 개별적으로 펌핑할 때는 일반적으로 위험성이 없는 두 물질 간에 위험한 반응이 발생할 수도 있습니다.

위험한 반응이 발생할 가능성이 있는 경우, 공정 단계 사이에 약 15분 동안 불활성 가스로 퍼지하는 것이 일반적인 관행이며, 이를 통해 두 번째 물질이 펌핑되기 전에 첫 번째 물질이 제거되는 경우가 많습니다. 그러나 일부 진공 시스템에서는 퍼지 단계만으로는 효과적으로 제거되지 않는 공정 가스가 갇힌 구역이 존재할 가능성이 있다는 점에 유의해야 합니다. 위험한 반응이 발생할 가능성이 있는 경우, 진공 시스템의 설계와 갇힌 공간의 파악에 세심한 주의를 기울여야 합니다.

공정 전/후 퍼지

원치 않는 화학 반응을 방지하기 위해, 공정 가스를 주입하기 전과 후에 15분 동안 불활성 퍼지 가스로 진공 펌프를 퍼지하는 것이 일반적인 관행입니다. 공정 전 퍼지는 대기 중 산소와 수분의 모든 흔적을 제거하는 반면, 후처리 퍼지는 잔류 공정 가스를 제거합니다.

비정상 반응 문제

화학 물질이 시스템 설계자가 예측하지 못한 가스 또는 물질과 접촉할 때 비정상 반응이 발생할 수 있습니다. 예를 들어, 시스템으로 대기 가스가 누출되거나, 독성, 가연성, 폭발성 또는 기타 위험 가스가 대기로 누출되었을 때 발생할 수 있습니다.

이러한 반응이 발생하지 않게 막기 위해 시스템에 1×10^{-3} mbar l/s(1×10^{-1} Pa l/s) 이하의 누출 방지를 유지해야 합니다. 고압 진공 응용 분야에서는 일반적으로 1×10^{-5} mbar l/s(1×10^{-3} Pa l/s) 이하의 누출 방지를 유지할 수 있습니다. 또한 시스템에 있는 모든 밸브는 시트 전반에 걸쳐 누출 방지시켜야 합니다.

일반적으로 공정 주기 중 서로 접촉하지 않는 가스들은 펌핑 시스템과 배기 파이프라인에서 혼합될 수 있습니다.

진공 펌프의 흡입구에 진공 상태가 유지된 채로 펌프의 전원을 끄면, 배기 파이프/시스템에서 배기 가스가 역류하게 됩니다. 이 가스에 공기/산소가 포함되어 있다면, 공정 가스와 원치 않는 화학 반응이 일어나거나 내부에 침전물이 생길 수 있습니다. 이러한 가능성이 있는 경우, 배기 가스의 역류를 늦추기 위해 진공 펌프의 배기구에 체크 밸브를 설치하는 것이 권장됩니다. 또한, 진공 펌프에 질소 퍼지를 적용하면 진공 시스템에서 공기가 완전히 제거될 수 있습니다.

정기적인 유지 보수 절차 이후 수증기나 세척제가 공정 챔버에 남아 있을 수 있습니다. 이는 공정 챔버를 세척 및 깨끗이 한 후 발생할 수도 있습니다. 수증기는 또한 배기관이나 배기 스크러버에서 시스템에 들어갈 수도 있습니다.

솔벤트를 사용해 진공 시스템에서 공정 침전물을 세척하는 경우, 선택한 솔벤트가 진공 시스템의 모든 공정 물질과 호환되는지 확인하는 것이 중요합니다.

상변화

진공 시스템은 펌핑된 기체와 증기의 압력을 진공 상태에서 대기압까지 높이도록 설계되었으며, 이 과정에서 물질이 액체 또는 고체 상태로 상변화를 일으킬 수 있습니다. 상변화를 겪은 물질은 파이프 막힘, 부식, 심지어 가연성 물질 발생과 같은 위험을 초래할 가능성이 있습니다. 일반적으로 건식 펌프 내부의 압력이 대기압에 가까워지면 상변화가 발생합니다. 그러나 매

우 낮은 외기 조건에서는 진공 펌프로 이어지는 전방 라인에서 물질이 상변화를 일으킬 가능성이 있습니다.

이로 인해 위험한 상황이 발생할 수 있는 경우에는 추적 가열을 사용하거나 건조한 불활성 퍼지 가스를 사용하는 것이 권장됩니다.

전방 라인에 고체 입자가 형성될 경우, 벽면에 침전층이 생길 가능성이 있으며, 시간이 지나면 이 침전층이 떨어져 나와 펌프 내부로 유입될 수 있습니다. 자세한 내용은 파이프 내 침전물 형성 / 페이지 32 섹션을 참조하십시오.

응축된 물질을 회수하고자 하는 경우, 해당 물질을 안전하게 수집할 수 있도록 진공 시스템에 응축기와 수액기를 설치하는 것이 권장됩니다.

2.3 가연성/폭발성 물질

수소(H_2), 아세틸렌(C_2H_2), 프로판(C_3H_8) 등의 많은 가스와 먼지 그리고 극미분 실리콘 먼지는 점화원이 제공될 경우 산화제의 특정 농도에서 가연성 및/또는 폭발성을 지닙니다. 예를 들어, 점화원은 국부 열 축적으로 상승할 수 있습니다. 이는 점화원 / 페이지 29에서 논의됩니다.

가연성 가스/증기는 일정량의 공기나 산화제와 혼합될 경우 폭발성 혼합물을 형성할 수 있는 가스/증기를 말하지만, 모든 농도가 위험한 것은 아닙니다.

잠재적인 가연성 혼합물 농도를 가연성 공간 외부로 유지해 폭발 위험을 방지할 수 있습니다. 보다 상세한 사항은 가연성 공간 방지 / 페이지 14에 설명되어 있습니다.

폭발 가능성을 줄이기 위해 사용할 수 있는 다른 방법은 점화원을 제거하는 것입니다. 보다 상세한 사항은 점화원 / 페이지 29에 설명되어 있습니다.

이러한 유해 농도는 가연성 범위에 속하며, 점화되어 폭발을 일으킬 수 있다는 점 때문에 일반적으로 “잠재적인 폭발성 대기”라고 불립니다. 가연성 범위는 연소 상한과 연소 하한 사이의 연료/공기 농도 범위를 말합니다. 이 범위에 속하는 혼합물은 점화원과 접촉할 경우 연소하거나 폭발합니다.

가연성 공간을 피할 수 없을 경우, 파열하거나 열을 외부 대기로 발산하지 않고 폭발을 방지하거나 일으킬 수 있는 장비를 설계해야 합니다. 화염 방지기 사용은 화염 방지기 보호 시스템 사용*(HazLoc systems)* / 페이지 29에서 논의됩니다. 진공 시스템의 외부 대기가 위험할 경우, 모든 장비는 적절한 등급을 갖추어야 합니다.

HazLoc은 잠재적인 폭발성 대기에서 사용될 장비의 설계에 대해 명확한 지침을 제공합니다.

모든 조건에서 잠재적인 폭발성 대기를 펌핑하는 것을 방지할 수 있을 경우, 당사의 모든 유형의 진공 펌프는 가연성 증기나 가스를 펌핑하는 데 사용할 수 있습니다.

폭발 위험원에는 일반적으로 다음 카테고리가 있습니다.

- 산화제
- 가연성/폭발 물질
- 발화성 물질
- 아지드화 나트륨.

참고:

유럽연합*(*및 기타*)* 국가에서 공정 물질 공급업체가 법률에 따라 판매하는 물질의 물리적 및 화학적 데이터를 게시해야 합니다*(*보통 물질 안전 데이터 시트의 형태*)*. 물질 데이터에는 해당할 경우 폭발 상한 및 하한에 대한 정보, 물질의 물리적 및 열역학적 속성 그리고 물질 사용과 관련된 건강 위험 상황이 있습니다. 이 지침 정보를 참조하십시오.

2.3.1 폭발 위험

참고:
잠재적인 폭발성 대기에서 사용하는 장비의 *European ATEX* 지침을 충족하는 펌프도 제공됩니다.

예상하지 못한 폭발은 언제나 안전 가이드라인을 준수하지 않아 발생합니다. 그럼에도 불구하고, 일부 폭발 사고는 매우 심각한 수준이었으며 상해나 죽음에 이를 수도 있었습니다.

진공 시스템 구성요소가 격렬하게 파열되는 일반적인 원인은 가연성 물질의 점화, 펌프 배출구의 막힘 또는 제한 때문입니다. 위험을 방지하기 위해 다음 사항에 주의를 기울여 진공 펌프와 시스템의 안전한 작동을 보장해야 합니다.

- 시스템이 진공 펌프에서 점화될 수 있는 농도로 펌핑 물질을 펌핑하기 위해 설계되지 않았다면, 가연성 물질 및 산화제의 혼합이 가연성 범위 밖으로 유지되어야 합니다. 불활성 퍼지 사용은 이를 달성하기 위한 방법 중 하나입니다. 가연성 공간 방지 / 페이지 14를 참조하십시오.
- 시스템이 이를 처리하기 위해 설계되지 않는 한, 기계 구성요소(예를 들어, 밸브나 블랭크)나 파이프라인, 필터 및 기타 배기 구성요소에 침적되는 공정 물질 또는 부산물로 인해 작동 중 배기구 막힘이 발생하지 않도록 해야 합니다.
- 높은 농도의 산소나 다른 산화제에 노출된 펌프 메커니즘에 PFPE(퍼플루오르폴리에터) 오일만 사용하십시오. "비가연성"이라고 판매된 다른 오일 유형은 최대 30 % v/v의 산화제 농도로만 사용하기에 적합할 수 있습니다.
- 의도적으로 밀폐 및 분리한 진공 시스템에서 의도치 않은 과압이 발생하지 않게 하고, 예를 들어 압력 조절기나 퍼지 제어 시스템의 장애가 발생하지 않게 하십시오.
- 펌핑된 제품이 격렬하게 물과 반응하는 경우, 물 대신 냉각제(예: 열 전달 유체)를 냉각 회로에 사용할 것을 권장합니다. 당사에 문의해 자문을 받으십시오.

폭발성 물질은 공기나 산화제가 없어도 반응할 수 있으며, 펌핑 시 특히 위험합니다.

진공 시스템 내에서 폭발성 폴리실리콘 고체 입자가 생성될 수 있으며, 이러한 입자는 수평 표면에 쌓이게 됩니다. NF_3나 SF_6와 같은 강력한 산화제를 사용하여 정기적으로 식각 단계를 수행함으로써 형성되는 물질의 양을 최소화하는 것은 일반적인 방법입니다. 이를 통해 진공 챔버 내의 물질 양을 줄여 위험한 사고 발생 가능성을 낮출 수 있습니다. 폴리실리콘 침전물이 형성될 수 있으나 식각 가스로 효과적으로 세척되지 않는 공간이 생기지 않도록 하기 위해서는 진공 시스템의 설계에 각별한 주의를 기울여야 합니다. 이러한 설계의 대표적인 예로는 수평 벨로우즈가 있는데, 이 경우 주름 내부에 침전물이 형성될 수 있지만, 식각 가스는 노출된 작은 표면만 식각할 수 있습니다.

여기서 해결책은 벨로우즈 사용을 피하거나, 벨로우즈를 수직 방향으로 장착하는 것입니다.

2.3.2 잠재적인 폭발성 가스 또는 증기 혼합물의 원인

가연성 가스나 증기가 올바른 농도의 산소나 다른 적합한 산화제와 혼합되었을 때, 이는 점화원이 있는 곳에서 점화할 수 있는 잠재적인 폭발성 혼합물을 형성하게 됩니다.

펌핑된 물질이 잠재적으로 폭발성이라는 점이 명백하지만, 당사의 경험에 따르면 공정용 시스템 설계시 고려되지 않았던 조건으로 인해 잠재적으로 폭발성인 혼합물이 생성되는 경우도 일부 있습니다. 장비로 인해 생성될 수

있는 잠재적 폭발성 혼합물의 모든 공정 상태 및 원인을 식별해야 합니다. 당사의 일부 사례가 아래 열거되어 있지만, 이는 모든 사례를 망라한 것은 아닙니다.

- 교차 오염 - 진공 펌프를 수많은 작업에 사용할 경우 개별 물질과 사용하는 것이 안전하지만, 펌프를 다른 물질과 사용하기 전 퍼지않을 경우 교차 오염이 예상치 못한 반응과 함께 발생할 수도 있습니다.
- 세척액- 응용 분야에서 경미한 것으로 볼 수도 있지만, 진공 펌프 전체에 가연성 세척액 사용과 배출로 인한 연속적인 건조로 잠재적으로 폭발성 혼합물을 생성할 수 있습니다.
- 예상하지 못한 물질 - 진공 펌프가 분산 진공 시스템을 제공하는 '내부 진공' 사용시, 시스템 설계 중 고려하지 않은 가연성 물질을 펌핑할 수 있습니다. 이러한 물질은 진공 펌프의 내부 온도나 온도 정격보다 자동 점화 온도를 낮출 수 있습니다.
- 용해 증기 - 이는 공정 운영 중 발달할 수 있으며, 공정에 맞는 내부 온도 정격을 주의해서 선택해야 합니다. 이는 일반적으로 화학 물질 공정 시장에서 HazLoc 요건에 의해 적용됩니다.
- 공기 누출 - 시스템으로 의도치 않게 공기나 산화제가 유입되면 가연성 가스나 증기의 농도가 변경되고 잠재적인 폭발성 혼합물이 생성될 수 있습니다.
- 가연성 씰링액 액체 - 가연성 씰링액이 액체 링 진공 펌프의 씰링액으로 사용되는 경우, 공기 유입은 잠재적인 폭발성 내부 혼합물을 생성하게 됩니다.
- 응축 공정 물질 - 시스템 내부에 가연성 물질 응축이 발생할 가능성이 있을 경우, 이로 인해 다른 공정 단계의 산화제나 공기와 함께 반응할 수 있음을 인지해야 합니다(예를 들어, 배기). 이는 적절한 온도 또는 일부 압력 제어로 방지할 수 있습니다.

2.3.3 가연성 공간 방지

가연성 물질은 공기나 산소 또는 기타 산화제와 연소되었을 때 그리고 농도가 인화성 하한, LFL(또는 폭발성 하한, LEL) 그리고 인화성 상한, UFL(또는 폭발성 상한, UEL) 사이에 있을 때만 잠재적인 폭발성 대기를 생성합니다. 문건에서 발견되는 대부분의 데이터에 따르면 산소가 산화제인 경우 산소의 가연성 제한 사항을 참조합니다. 아래에 제시된 모드추가 정보는 이러한 가정을 바탕으로 합니다.

잠재적으로 폭발성이 있기 위해 산소 농도가 최소 산소 농도, MOC(또는 제한 산소 농도, LOC)보다 높아야 합니다. 주요 가연성 가스의 MOC(LOC)는 5% 볼륨 이상입니다.

참고**:**
이는 특별 예방 조치를 필요로 하지 않는 자연 발화 물질에 적용하지 않습니다.

가연성 공간에서 가스 혼합물로 작동하는 것을 방지하는 데 사용할 수 있는 수많은 전략이 있습니다. 전략 선택은 공정 및 펌핑 시스템의 위험 평가(위험 분석) 결과에 따라 달라집니다.

유럽 연합 폭발 환경 대기 지침("ATEX 114", 즉 2014/34/EC)에 따라, 가연성 가스의 안전을 확보하기 위한 최선의 방법은 공기 중의 해당 가스 농도가 가연성 범위에 속하지 않도록 하여, 점화원이 발생하더라도 연소가 일어나지 않도록 하는 것입니다. 따라서 다음 조치 중 하나를 취해야 합니다.

- 가연성 가스 농도를 **LFL(LEL)**보다 낮게 유지

  가연성 공간에 의도치 않게 유입되는 가연성 가스 위험을 최소화하기 위해 LFL(LEL) 미만 안전역을 사용해야 합니다.

  안전역은 위험 평가에 따라 사용자가 결정해야 합니다. 일부 기관에서는 농도를 LFL(LEL)의 25% 미만으로 유지할 것을 제안합니다.

LFL(LEL) 이하의 적절한 농도를 유지하는 데 일반적으로 사용하는 방법은 불활성 가스 퍼지(예: 질소)로 희석되며, 펌프 흡입구 및/또는 퍼지 연결부로 유입됩니다. 희석 시스템 및 알람 또는 인터록의 필수 무결성은 희석 시스템이 고장날 수도 있는 위험 공간에 따라 달라집니다.

연소 하한은 일반적으로 해당 가스나 증기의 공급업체가 제공하는 MSDS(물질 안전 데이터 시트)에서 확인할 수 있습니다. 이는 가연성 가스 혼합물이 점화되어 화염이 지속되거나 폭발이 일어날 수 있는 최소 공기/산화제 농도입니다.

잠재적인 폭발성 대기를 방지하고 안전 여유를 확보하기 위해서는, 연료/공기[또는 산화제] 농도가 하한 가연성 농도의 25%가 될 때까지 불활성 가스로 희석해야 합니다.

진공 시스템 내부로 공기가 누출될 경우 가연성 가스나 증기를 더욱 희석시킬 뿐이므로, 이는 권장되는 작동 모드입니다. 그러나 불활성 가스 시스템을 안전 필수 요소로 간주할 필요가 있습니다.

참고**:**

질식 위험 방지를 위해 적절한 예방조치를 취하십시오.

- **UFL(UEL)**보다 높은 가연성 가스 농도 유지

  연소 상한은 일반적으로 해당 가스 또는 증기의 공급업체가 제공하는 MSDS에서 확인할 수 있습니다. 이는 가연성 가스 혼합물이 점화되어 화염이 지속되거나 폭발이 일어날 수 있는 최대 공기/산화제 농도입니다.

  잠재적인 폭발성 대기를 방지하고 안전 여유를 확보하기 위해서는 공기/산화제 농도를 상한 가연성 공기/연료 한계에서 요구되는 공기/산화제 농도의 60%로 제한해야 합니다.

  이 작동 모드에서는 공정 용기, 파이프 및 진공 시스템에서 발생하는 공기 누출을 세심하게 제어해야 합니다. 또한, 밸브 개방이나 불활성 가스 실린더 교체와 같은 운영 또는 유지 보수 활동으로 인해 공기가 우발적으로 유입될 가능성도 고려해야 합니다.

  이 방식의 장점은 불활성 가스 퍼지를 사용할 필요가 없어 공정 가스의 제거가 더 쉬워지거나 가능해지며, 비용을 절감할 수 있다는 점입니다.

- 산소 농도를 **MOC(LOC)** 미만으로 유지

  이러한 작동 모르는 펌핑된 가스의 산소 농도 모니터링 사용으로 안전한 작동을 보장합니다. 가연성 공간에 의도치 않게 유입되는 가연성 가스 위험을 최소화하기 위해 LFL(LEL) 미만 안전역을 사용해야 합니다. 이용 가능 업계 표준은 산소 농도를 지속적으로 모니터링할 수 있는 위치를 나타내며, 이는 가스 혼합에 대한 적어도 최저 게시 MOC(LOC) 미만의 2볼륨 퍼센티지 포인트를 유지해야 합니다. MOC(LOC)가 5% 미만이 아닐 경우, 산소 농도는 적어도 MOC(LOC)의 60%를 유지해야 합니다. 정기적인 산소 수준 확인의 형태로만 모니터링이 이루어질 경우, 산소 수준은 MOC(LOC)가 5% 미만이 아닌 경우 최저 게시 MOC(LOC)의 60%를 초과해서는 안 됩니다. 이 경우 산소 농도는 MOC(LOC)의 40% 미만을 유지해야 합니다.

  최저 게시 MOC(LOC) 미만으로 산소 수치를 유지하는 기본 방법은 공정 및 펌프 시스템에서 공기와 산소를 완전히 배제시키고, 불활성 퍼지 가스(질소 등)를 활용하는 펌핑된 가스의 희석과 함께 필요할 경우 펌프 흡입구 및/또는 퍼지 연결부로 펌프를 삽입합니다. 공기/산소 배제 측정 및 알람과 인터록의 필수 무결성은 배제와 희석 시스템 고장으로 이어질 수 있는 위험 공간에 따라 달라집니다.

  공정과 펌프 시스템에서 공기를 완전히 빼내는 데 일반적으로 필요한 예방 조치는 본 섹션 마지막에 나와 있습니다.

  최소 산소 농도란 잠재적인 폭발성 대기가 존재할 수 있는 산소 농도를 말합니다. 이 수준보다 낮은 산소 농도에서는 가연성 혼합물이 연소나 폭발을 지속할 수 없습니다.

잠재적인 폭발성 대기를 방지하고 안전 여유를 확보하기 위해서는 산소 농도를 최소 산소 농도의 60%로 제한해야 합니다.

이 작동 모드에서도 공정 용기, 파이프 및 진공 시스템에서 발생하는 공기 누출을 세심하게 제어해야 합니다. 또한, 밸브 개방이나 불활성 가스 실린더 교체와 같은 운영 또는 유지 보수 활동으로 인해 공기가 우발적으로 유입될 가능성도 고려해야 합니다.

- **UFL(UEL)**보다 높은 가연성 가스 농도 유지

  가연성 가스 농도가 높은 경우, UFL(UEL)보다 높은 작동이 더 적절할 수 있습니다. 가연성 공간에 의도치 않게 유입되는 위험을 최소화하기 위해 UFL(UEL) 초과 안전역 작동을 사용해야 합니다. 가스의 잔여 산소 수준이 가연성 가스 UFL(UEL) 농도에서 일반적인 절대 산소 농도의 60% 미만으로 유지되게 할 것을 권장합니다.

  이 안전역 미만으로 산소 수준을 유지하는 기본 방법은 공정과 펌프 시스템에서 공기와 산소를 엄격히 배제시키는 것입니다. 펌프 흡입구 및/또는 퍼지 연결부로 연결되는 불활성 퍼지 가스(질소 등) 또는 추가 가연성 가스('패딩' 가스)를 활용하는 펌핑 가스 희석 또한 필요할 수 있습니다. 공기 배제 측정, 퍼지 가스 도입 시스템 및 알람과 인터록의 필수 무결성은 배제와 희석 시스템 고장으로 이어질 수 있는 위험 공간에 따라 달라집니다.

- 최소 폭발 압력 미만의 가연성 가스 농도 유지

  모든 가연성 물질은 폭발이 지속될 수 없는 최소 압력이 존재합니다. 흡입구에서 진공 펌프에 대한 압력이 이 압력보다 낮게 유지될 수 있을 경우, 진공 펌프 내부에서 시작되는 점화 또한 흡입구로 퍼질 수 없습니다. 하지만, 진공 펌프 배기에 대한 예방 조치를 취해야 합니다.

  공정과 펌프 시스템에서 공기를 완전히 빼내는 데 일반적으로 필요한 예방 조치는 다음과 같습니다.

- 공기 누출 제거

  누출 감지기를 사용하거나 압력 '증가율' 테스트를 실행하십시오. 가연성 물질을 공정 챔버에 넣기 전, 테스트를 실행해 진공 시스템 내 공기(산소) 누출이 허용 가능 한도에 있는지 평가할 수 있습니다.

  압력 '증가율' 테스트를 수행하기 위해 빈 공정 챔버를 일반 작동 압력 바로 밑의 압력으로 배출시킨 다음, 진공 펌프와 분리시킵니다. 공정 챔버의 압력은 고정된 기간 동안 기록됩니다. 공정 챔버의 볼륨은 최대 허용 가능 공기 누출과 함께 알려져 있으므로, 고정된 기간 동안 발생할 수 있는 최대 허용 가능 압력 상승을 계산할 수 있습니다. 최대 압력 한계를 초과할 경우, 공정 챔버에 대한 공기(산소) 누출원을 밀봉해야 하며, 가연성 물질을 공정 챔버로 주입하기 전에 테스트가 성공적으로 반복 실시되어야 합니다.

  양호한 기본 압력을 달성하기 위한 진공 시스템의 기능을 사용해 시스템 누출 방지를 나타낼 수 있는 경우도 있습니다.

- 공정 시작 전에 시스템에서 모든 공기를 제거하십시오**.**

  가연성 가스가 공정에 유입되기 전에 시스템의 모든 공기를 제거할 수 있도록 시스템을 비우고/비우거나 불활성 가스(질소 등)를 정화해야 합니다. 공정 종료시, 이 절차를 반복해 시스템을 최종적으로 공기 중으로 환기시키기 전 모든 가연성 가스를 제거하십시오.

- 건식 진공 펌프의 경우

  샤프트 또는 퍼지 씰 가스는 어떠한 상황에서도 공기와 함께 공급되거나 오염될 수 없으며, 가스 발라스트 포트가 밀봉되거나 불활성 가스를 유입시키기 위해서만 사용하도록 합니다.

- 습식 진공 펌프의 경우**(**예**:** 오일 밀봉 회전식 피스톤 또는 회전식 베인 펌프**)**

  제조업체의 지침에 따라 샤프트 씰을 완전히 유지하고, 오일 압력 손실에 대한 알람 표시로 펌핑 및 압축화된 오일 윤활 시스템을 사용하십시

오. 이러한 시스템은 외부 액세서리로 구성될 수 있어 압력 스위치로 필터링 및 압축화된 윤활유를 제공할 수도 있습니다. 모든 가스 발라스트 포트를 밀봉하거나 불활성 가스 유입 시에만 사용하십시오. 불활성 가스를 오일 박스로 적절히 퍼지시켜 공정 시작 전 공기를 제거하십시오.

- 루트 진공 부스터 펌프

  제조업체 지침에 따라 주 드라이브 샤프트 씰을 완전하게 유지하고 정화 또는 '브리더' 포트 연결이 불활성 가스를 유도하는 데에만 사용되는지 확인하십시오.

- 역류

  시스템 작동 절차와 시설에서 펌프 고장으로 이어질 수도 있는 역류로부터 시스템을 보호해야 합니다. 펌핑된 가연성 가스를 펌프 배기 시 최종 배기로 안전하게 폐기해야 합니다. 가연성 가스 혼합물은 배기 파이프라인에서 증가할 수 없으며, 가연성 가스 공정 시작 이전 그리고 종료 이후 파이프라인의 적절한 불활성 퍼지 사용 그리고 작동 중 적절한 불활성 가스 사용으로 배출 시 공기의 격렬한 역혼합을 막습니다.

2.3.4 누출 방지(대기 공기 누출)

유해 공정 가스를 취급하는 진공 시스템은 외부 공기의 누출로 인한 결과를 파악하기 위해 신중하게 평가되어야 합니다. 위험 수준을 파악하기 위해 위험 분석을 실시할 것을 권장합니다. 여기서는 정상 작동, 고장 모드 및 유지보수 절차를 고려해야 합니다. 일반적인 문제는 다음과 같습니다.

- 발화성 가스와의 반응
- 가연성 가스 및 증기를 가연성 구역으로 이동하기
- 대기 중 수분의 침투로 인한 부식
- 공정 가스와의 바람직하지 않은 반응.

100% 완전히 밀폐되는 진공 시스템은 없으며 초고진공 시스템 내에서도 항상 공기 누출이 발생합니다. 누출 방지 성능이 부족하여 안전 문제가 발생할 수 있는 경우, 안전한 상태를 확보하기 위해 필요한 누출 방지 성능 수준을 파악하기 위한 계산을 수행해야 합니다.

진공 시스템은 일반적으로 완전히 밀폐되도록 설계됩니다. 그러나, 인근 시스템의 누출 방지 또한 보장할 수 없습니다. 적절한 누출 방지 방법(예를 들어, 헬륨 질량 분석 누출 감지)을 사용해 진공과 배출 시스템의 무결성을 확인해야 합니다. ISO-KF 또는 ISO-K와 같은 진공 표준 파이프 시스템을 사용하는 것이 권장되는데, 이는 해당 파이프프 시스템이 진공 기준에 따라 완전히 밀폐되도록 설계되었기 때문입니다. 폭발 상한 이상에서 펌핑할 경우, 전체 설비의 누출 방지 상태를 점검하십시오. 누출량을 정기적으로 확인하십시오.

완전 밀폐 시스템의 구비가 안전 필수 요인인 경우, 위험 수준을 파악하기 위해 진공 시스템의 성능 수준을 산정해야 합니다.

누출 방지 기능이 위험한 조건을 방지하는 데 필수적인 경우, 정기적으로 점검하여 시스템이 완전히 밀폐 상태를 유지하는지 확인해야 합니다. 우발적인 공기 누출 및 잠재적 위험을 초래할 수 있는 유지 보수 작업에 대해서는 각별한 주의를 기울여야 합니다.

참고**:**
시스템의 누출 방지가 안전 필수 요소지만 요구되는 무결성 수준을 확보할 수 없는 경우, 공정 가스를 안전 한계치 이하로 낮추기 위해 불활성 가스를 사용하여 희석하는 것이 권장됩니다.

2.4 산화제

산소(O_2), 오존(O_3), 불소(F_2), 삼플루오린화질소(NF_3) 및 육플루오르화텅스텐(WF_6)이 종종 진공 시스템에서 펌핑됩니다. 산화제는 진공 시스템 내의

'O' 링과 같은 탄성중합체, 고분자, 오일 등 다양한 물질과 쉽게 반응하며, 이러한 반응으로 인해 종종 열이 발생하고 가스 압력이 상승합니다. 잠재적 합성 위험 상황에는 펌프 및/또는 배기 시스템의 화염과 과압이 있습니다.

이러한 가스를 안전하게 펌핑하려면, 다음 권장 사항과 함께 가스 공급업체의 안전 지침을 따라야 합니다.

- 산소 농도가 부피 기준 25%를 초과하는 경우, o-링, 펌프 베인 등의 구성요소에는 PFPE 윤활제와 내화학성 폴리머를 반드시 사용해야 합니다. 순수 산소를 펌핑할 때는 O2 인증 펌프를 사용하는 것이 필수적입니다.
- 산화제 비율이 25% 미만이지만 고장난 상태에서 25% 이상으로 상승할 수도 있는 가스를 펌핑하는 데 사용하는 펌프에 PFPE 윤활제를 사용하고, 산소가 아닌 다른 산화제를 펌핑할 경우 산화제의 권장 수준은 윤활유 공급업체에 문의하십시오.
- PFPE 윤활유는 기본 윤활유이지만, 적절한 불활성 가스 퍼지를 사용해 오일이 불안정한 산화제 수준에 노출되지 않도록 보장하기 위해 사용할 경우 탄화수소 유형의 윤활유를 사용할 수 있습니다.

이러한 산화제의 실제 효과는 가스의 압력과 온도에 따라 달라질 것입니다. 둘 다 반응 속도에 영향을 미칩니다. 반응 속도가 빨라질수록 과압이나 화재가 발생할 가능성도 커집니다. 일반적인 상황에서 PFPE 윤활유는 오일 밀봉 회전식 베인이나 피스톤 펌프 오일 박스 또는 기어 박스를 산화시키거나 녹슬게 하고 폭발 가능성을 줄입니다.

PFPE 윤활유의 열 분해는 공기와 철이 있는 상태에서 290 °C 이상일 때 발생할 수 있습니다. 그러나, 열 분해 온도는 티타늄, 마그네슘, 알루미늄 또는 합금이 있을 때 260 °C로 낮추어야 합니다.

PFPE 윤활유를 오일 밀봉 회전식 베인이나 피스톤 진공 펌프에 사용하고 싶지 않을 경우, 건식 질소 등 불활성 가스를 활용해 산화제를 안전 농도로 희석할 수 있습니다.

이러한 접근법은 낮은 유속의 산화 가스에만 실행 가능합니다. 시스템에 안전 기능을 설치해 산화 농도를 안전 수준으로 낮추는 데 필요한 불활성 희석 가스의 최소 흐름을 항상 제공하도록 해야 하며, 산화 흐름이 최대 허용 유속을 초과하지 않도록 해야 합니다. 이러한 조건을 충족하지 않을 경우 산화제 흐름이 즉시 중단되도록 시스템을 설계해야 합니다.

산화제를 펌핑할 때 당사의 건식 펌프 사용을 권장합니다(건식 펌프 / 페이지 35 참조). 건식 펌프는 배기량에 밀봉 유체가 없으며 건식 펌프를 사용해 산화제를 처리할 경우 폭발 발생 가능성을 대폭 줄입니다. 당사는 탄화수소 윤활유를 사용하는 경우 베어링 및 기어박스에 대해 불활성 가스로 퍼지할 것을 권장합니다.

2.5 발화성 물질

대부분의 조건에서 실란(SiH_4) 및 포스피린(PH_3)이나 발화성 먼지가 동시에 대기압에서 공기와 반응하며, 연소를 지원하기에 충분한 압력에서 연소가 공기 또는 다른 산화제와 접촉할 때 발생할 수 있습니다. 발화성 가스는 공기와 접촉하면 자연 발화합니다. 사실상 연소 상한이 100%인 가연성 가스입니다. 이는 공기가 시스템으로 누출하거나 시스템 배출이 대기와 접촉할 경우 발생할 수 있습니다. 산화제와 발화성 가스의 반응으로 인한 열은 폭발성 물질의 점화원 역할을 할 수 있습니다.

발화성을 띠는 것은 가스뿐만이 아니라, 분진이나 분말도 발화성을 띨 수 있으며, 특히 진공 챔버 내에서 승화를 통해 생성된 금속 분진이나 분말의 경우 더욱 그러합니다. 이러한 분진은 보호용 산화막을 형성하지 않았기 때문에 공기에 노출되면 자연 발화하기 쉽습니다.

또한 이 분진은 가연성 및 발화성 공정 가스의 흡수제 역할도 할 수 있습니다. 고압, 저온 및 넓은 표면적 덕분에 먼지 내로의 흡착 속도가 증가합니다.

여러 공정의 배기 가스가 공통 추출 시스템을 통해 배기될 경우, 연소 및/또는 폭발이 일어날 수 있습니다. 따라서, 발화성 물질을 사용할 때 개별 추출 시스템을 사용할 것을 권장합니다. 인을 사용하는 공정은 고체 인이 진공 시스템이나 배기구에 응축되게 합니다. 공기가 있고 약간 기계적 교반이 있는 경우(예를 들어, 압력 차이로 인한 밸브나 펌프 회전 활성화) 인은 자발적으로 연소되어 독성 가스를 방출할 수 있습니다. 펌프를 불활성 가스 퍼지로 작동하고 충분히 가열 실행시켜 인의 응축을 최소화할 것을 권장합니다.

PFPE 윤활유는 발화성 물질인 경우 윤활유를 공기에 노출할 때 국부 연소로 이끌 수 있는 공정 가스를 흡수할 수 있습니다. 이러한 위험은 특히 서비스 중 또는 산화제가 발화성 가스나 먼지 이후 시스템 전반적으로 펌핑될 경우 명백해질 수 있습니다. 배기량에서 윤활유를 제외하는 건식 펌프를 사용할 경우 이러한 위험 발생 가능성을 줄일 수 있습니다. 환기 또는 처리되기 전 모든 발화성 물질을 피동시켜야 합니다.

발화성 가스, 분진 또는 침전물을 취급할 때는 위험한 반응을 일으킬 수 있는 공기 누출을 반드시 차단해야 합니다. 미량의 공기 누출은 발화성 가스와 반응할 수 있으나 위험한 상황을 초래하지는 않을 수 있으므로, 각 용도에 따라 허용 가능한 누출량을 산정하고 적절한 안전 여유를 설정해야 합니다.

가연성 분진이나 분말은 필터에 포집되거나 파이프 내부에 층을 형성할 수 있으며, 대기와 접촉할 경우 매우 강한 발열 반응을 일으킬 가능성이 실제로 존재합니다. 정상 작동 시, 유지 보수 시 및 결함 조건 시에 이러한 시스템에서 공기가 완전히 제거되도록 조치를 취해야 합니다. 시스템을 대기로 배기해야 할 경우, 이를 위해 질소를 사용하는 것이 권장되며, 진공 시스템을 분해해야 할 경우 예기치 못한 반응이 발생할 가능성에 대비해 보호 장비를 착용해야 합니다.

참고**:**

모든 유해 물질을 파악하고 적절한 취급 방안을 수립하는 데 주의를 기울여야 합니다.

펌프 시스템을 개방하여 공기를 유입하기 전에, 먼지 층에 흡착된 가스를 제거하기 위해 퍼지 가스를 사용하여 잠시 가동하는 것이 좋습니다. 낮은 농도의 산소를 주입하여 제어된 산화 과정을 진행하면, 분진 내의 발화성 가스를 제거할 뿐만 아니라 분진 자체를 산화시킬 수도 있습니다. 이 접근 방식은 표면의 물질만 처리되고 먼지 층의 대부분은 흡수한 가스를 그대로 유지할 가능성이 있으므로 신중하게 정의되어야 합니다.

분해 후 진공 시스템 구성요소를 담글 수 있는 수욕이나 오일욕을 사용하는 것은 매우 효과적일 수 있습니다. 그러나 이러한 절차의 안전성은 각 적용 사례별로 고려해야 합니다.

실리콘 및 폴리실리콘과 같은 기타 물질은 진공 시스템 내부에 불안정한 침전물을 형성할 수 있으며, 이러한 물질들은 발화성과 폭발성 사이의 경계선에 해당합니다. 폭발물 섹션을 참조하십시오.

2.6 독성 물질

수많은 진공 분야가 독성 물질의 공정 및 취급에 관여하고 특정 절차를 요구합니다.

자연 생성된 독성 물질은 건강에 해롭습니다. 그러나, 위험의 속성은 물질 및 관련 농도에 따라 다릅니다. 물질 및 해당 법규 공급업체가 제공하는 올바른 취급 절차를 준수해야 합니다.

위험 물질의 화학원

진공 시스템은 유독 물질을 취급하는 데 매우 효과적인 방법입니다. 진공 측에서 누출이 발생하더라도 대기 중의 공기만 유입될 뿐, 유독한 공정 가스가 외부로 유출되는 것을 막아주기 때문입니다. 진공 시스템의 배기 라인을 고려하기 시작하면 상황이 달라집니다. 이 부분의 압력은 대기압에 가깝거나 대기압보다 약간 높은 수준이며, 누출이 발생하면 펌핑 중인 독성 가스가 누출될 수 있습니다.

다음 사항 또한 고려해야 합니다.

- 가스 희석 - 진공 펌프를 통과하거나 배출구로 가면서 독성 공정 가스의 희석을 허용하기 위한 설비입니다. 이 희석을 사용해 독성 한계보다 낮은 농도로 줄일 수 있습니다. 공급장치가 고장날 경우 희석 가스 공급을 모니터링할 것을 권장합니다. 특히 오일 밀봉 펌프의 경우, 필수 오일 회수 키트는 펌프 사용 설명서를 참조하십시오.
- 샤프트 씰링(건식 펌프) - 수많은 건식 진공 펌프는 가스 퍼지 시스템을 사용해 공정 가스가 기어박스와 베어링에 들어가지 못하게 하고 잠재적으로 진공 시스템 주변 대기에도 들어가지 못합니다. 독성 물질을 처리할 때 이러한 가스 공급의 무결성을 보장해야 합니다. 압력 조절기 / 페이지 36에서 논의된 바와 같이 비환기 조절기는 비회수 체크 밸브와 조합하여 사용해야 합니다.
- 샤프트 씰링(기타 펌프) - 오일이 넘치는 샤프트 밀봉 설계(예를 들어, EH 기계 부스터 펌프 및 EM 회전식 베인 펌프)는 공정 가스 노출 위험을 최소화하며(또는 공기 중 내부 누출), 위험 발생 전 시각적 경고 문구를 제공합니다(오일 누출 또는 오일 수출 저하). 다른 씰 설계는 적절한 고장 경고를 제공할 수 없습니다.
- 자성 드라이브 - 완전 밀폐가 필요한 경우, 고객 지원팀에 문의하여 자세한 안내를 받으시기 바랍니다. 누출이 발생할 수 있는 모든 원인을 고려하십시오. 펌프의 종류에 따라 자성 드라이브나 이중 기계식 씰과 같은 특정 씰을 제공할 수 있습니다.

가압 밸브나 버스팅 디스크를 사용해 초과 압력을 없앨 경우, 적절한 배출 시스템으로 안전하게 환기시켜 독성 위험을 방지해야 합니다.

진공 시스템의 배기 문제는 유독 물질을 대기 중으로 직접 배출할 수 없는 경우가 있으므로 신중하게 고려해야 합니다. 이 경우, 폐가스 흐름을 안전하게 처리할 방법을 모색하기 위해 가스 저감 전문 업체의 자문을 구할 것을 권장합니다.

독성 가스가 주입된 곳에서는 내부 표면이나 갇혀 있는 내부 공간에 유독 물질이 포함되어 있을 가능성이 높습니다. 독성 가스와 접촉했던 펌프나 구성요소를 분리하기 전에, 모든 유해 가스를 제거하기 위해 퍼지 작업을 수행할 것을 권장합니다.

참고**:**

모든 유해 물질을 파악하고 적절한 취급 방안을 수립하는 데 주의를 기울여야 합니다.

펌프를 제거할 때 모든 진공 플랜지를 밀봉해야 합니다. 밀봉할 수 없는 부품은 밀폐 용기에 보관해야 합니다. 유지 보수를 위해 펌프를 분해해야 할 경우, 전문적인 오염 제거 시설을 갖춘 정비 시설로 반환하는 것이 필수적입니다.

오염된 진공 장비를 서비스 또는 유지 보수를 위해 당사에 반환할 때는, 장비와 함께 제공된 사용 설명서에 명시된 특정 절차(양식 HS1)를 준수하고 신고서(양식 HS2)를 작성해야 합니다.

2.7 부식성 물질

수많은 진공 분야가 부식성 물질의 공정 및 취급에 관여하고 특정 절차를 요구합니다. 부식성 가스는 진공 시스템을 손상시키고 위험한 상황을 초래할 가능성이 있습니다.

플루오르, 염소, 기타 할로겐 또는 할로겐화물 등의 일부 부식성 물질과 오존 등의 산화제 또는 황화수소 등의 환원제는 어떠한 액체도 없이 접촉 중인 물질을 공격할 수 있습니다. 이러한 경우 부식성 물질의 일부 압력을 적절한 희석 가스 사용 내내 최소화해야 합니다. 진공 시스템과 펌프 모델의 구축 물질은 예상 농도의 특정 가스와 호환 가능하도록 선택해야 합니다. 고온이 부식을 가속화할 수 있으므로 다른 공정 고려사항이 허용되는 경우를 최소화해야 합니다. 시스템의 부식성 물질 효과를 고려하기 위해 유지보수 간격을 검토해야 합니다.

모든 부식성 물질은 식별해야 하며, 이러한 물질이 진공 시스템 내의 물질과 호환되는지 확인해야 합니다. 다만, 다음 사항에 유의하는 것이 중요합니다:

- 부식은 물리적, 화학적 또는 전기화학적 반응을 기반으로 합니다.
- 가장 흔한 금속 부식은 전기화학적 반응을 기반으로 하므로, 이에 필요한 것은 전해질입니다. 이는 일반적으로 물이 존재함을 의미합니다. 부식성 물질이 무수 상태[물이 없는 상태]일 경우, 반응이 일어날 수 없습니다.
- 할로겐이나 유기산과 같은 특정 화학 물질은 물이 없어도 펌프 재질과 반응하여, 펌핑되는 물질과 부식성 가스로부터 유래한 이온으로 구성된 반응 생성물을 생성할 수 있습니다. 물질의 종류에 따라 이러한 반응 생성물들이 층을 형성할 수 있으며, 이 층은 이후의 반응을 방지하거나 최소화합니다. 일부 반응 생성물(예: $AlCl_3$), SiF_4는 증기압이 비교적 높아 가스 흐름과 함께 제거됩니다. 이러한 조건에서는 펌프 재질이 시간이 지남에 따라 침식되어 펌프가 파손될 것입니다.
- NF_3 또는 불소와 같은 강력한 산화제는 펌프 내부에서 사용되는 유기물질과 반응하여 이러한 구성요소를 손상시킬 수 있습니다. 이러한 물질에는 씰, 개스킷, 그리스, 오일 등이 있습니다.
- 부식성 물질을 증기 상태로 유지할 수 있는 경우, 일반적으로 부식이 발생하지 않습니다.
- 중합체 및 세라믹 재료에서는 화학적 또는 물리적 반응이 일어날 수 있습니다.

진공 펌프로 부식성 물질을 펌핑할 경우, 다음 사항을 참고해야 합니다.

- 수분 유입 - 부식성 효과를 가속화할 수 있는 습한 공기의 유입을 막기 위해 특별히 주의해야 합니다. 불활성 퍼지를 중단 절차의 일부로 사용해 중단 전 시스템에서 부식성 물질을 세척해야 합니다.
- 희석 - 적합한 불활성 희석 가스를 사용해 부식성 물질의 응축을 막고 그로 인한 부식을 완화하십시오.
- 온도 - 펌프와 배기 라인 온도를 증가시켜 부식을 제한할 수 있는 수증기 응축을 막으십시오. 온도가 높을수록 부식 속도가 증가하는 경우가 있습니다. 아래 단락을 참조하십시오.
- 안전 장비 부식 - 안전 핵심 장비(화면 방지기 구성요소, 온도 센서 등)가 공정 가스 흐름의 부식성 산물에 의해 손상될 수 있었던 경우, 구축 물질을 선택해 이 위험한 상황을 제거해야 합니다.
- 위상 변화 - 예상치 못한 위상 변화로 응축이 일어날 수 있습니다. 온도와 압력의 변화를 고려해 이러한 위험을 방지해야 합니다.
- 예상하지 못한 반응 - 예상하지 못한 화학 반응으로 인해 부식성 산물이 생길 수 있습니다. 장비가 한 개 이상의 용도로 사용될 경우 교차 오염 가능성을 신중하게 고려해야 합니다.

부식을 방지하기 위해 다음과 같은 조치를 취할 수 있습니다.

가스 발라스트 포트나 펌프의 배기구에 퍼지 가스를 주입하면 부식성 가스가 기체 상태로 유지되도록 할 수 있습니다.

위험 물질의 화학원

펌프의 작동을 중지할 경우, 펌프 내부의 부식성 물질을 제거하고 배기 라인을 통해 습한 공기가 유입되는 것을 방지하기 위해 소량의 퍼지 가스(예: 샤프트 씰 퍼지) 흐름을 계속 유지하는 것이 좋습니다. 또한, 펌프 옆의 배기 라인에 체크 밸브를 설치하면 펌프가 꺼졌을 때 수분이 역류하는 것을 방지할 수 있습니다. 가스 제거를 위해 습식 세정기가 설치된 경우, 이를 강력히 권장합니다.

차가운 표면과 고압 상태의 표면은 응결이 가장 쉽게 발생하여 부식을 유발하는 곳입니다. 따라서 배기 파이프라인이 가장 큰 위험에 노출되어 있으며, 특히 파이프라인이 추운 장소(예: 실외)에 설치된 경우에는 위험한 부식을 방지하기 위해 배기 라인의 사양을 신중하게 검토할 것을 권장합니다. 부식성 물질과의 호환성을 보장하기 위해 밀봉 물질을 신중하게 선정해야 합니다.

할로겐을 취급하는 펌프에는 알루미늄이나 알루미늄 합금의 사용을 권장하지 않습니다. 펌프 재질과 할로겐 또는 산 사이의 반응을 방지하기 위해, 펌핑 챔버에 코팅을 하는 것이 일반적인 관행입니다. 반응성 공정 가스와 접촉하는 용도로 구리나 황동을 사용하는 것은 권장되지 않습니다.

오일 씰 펌프나 진공 챔버 내 그리스 윤활 베어링을 사용하는 펌프로 부식성 가스나 강력한 산화제를 이송할 경우, 오일 열화를 방지하기 위해 PFPE를 사용하는 것이 좋습니다.

2.8 요약 **-** 위험 물질의 화학원

- 시스템 내에서 가능한 모든 화학 반응을 고려하십시오.
- 고장난 상태에서도 발생할 수 있는 반응 등 비정상적인 화학 반응을 허용하십시오.
- 공정 물질과 관련된 잠재적 위험 상황을 평가할 때 물질 안전 데이터시트를 참조하십시오.
- 희석 기술을 사용해 산화제 및 가연성 물질과의 반응을 최소화하십시오.
- 가연 공간이 지정된 유럽에서는 적절한 인증 HazLoc 진공 펌프를 사용해야 합니다. 다른 지역의 경우, 당사는 가능한 경우 HazLoc 인증을 받은 펌프 사용을 권장합니다.
- 산화제를 펌핑할 때 펌프에 올바른 윤활유를 사용하고, 건식 펌프 사용을 고려하십시오.
- 공정이 아지드화 나트륨을 사용하거나 생성할 경우 공정 시스템의 가스 경로에 중금속을 사용하지 마십시오.
- 독성, 부식성 또는 불안정한 물질을 취급할 때 특별히 조심하십시오.

3 위험 물질의 물리적 원인

과압 위험 유형

진공 시스템의 구성요소 과압은 다음 상황으로 이어질 수 있습니다.

- 고압 가스의 시스템 유입
- 시스템의 가스 압축
- 시스템 내 휘발성 가스의 갑작스런 온도 증가
- 고체 제품의 침적으로 이어지는 위상 변화
- 진공 시스템 내부의 반응으로 인해 배기가 차단되었습니다. 다른 원인이 있을 수 있습니다.

3.1 과압 펌프 배기

과압 배기의 일반적인 원인은 배기 시스템의 막힘이나 제한입니다. 이를 통해 펌프나 시스템의 다른 구성요소가 고장날 수 있습니다.

진공 펌프는 높은 출입구 대비 흡입구 압축 비율로 작동되도록 특별 설계된 압축기입니다. 펌프 작동으로 인한 잠재적 과압과 더불어, 압축 가스의 도입으로(퍼지 또는 희석 가스) 또한 배기 시스템이 제한 또는 차단될 경우 시스템을 과도하게 압축할 수 있습니다.

진공 시스템은 일반적으로 대기압보다 약간 높은 압력부터 완전 진공에 이르는 범위에서 설계 및 운영됩니다. 이 시스템은 고압 환경에서 사용하도록 설계되지 않았으므로, 위험한 과압 상황이 발생할 수 있는 조건을 피하도록 주의해야 합니다. 고려해야 할 사항은 다음과 같습니다(‘배기구 막힘’, ‘퍼지 시스템으로 인한 과압’, ‘설계 압력’).

펌프가 화염 방지기와 배기 측면의 필터 또는 응축기 같은 기타 장비와 피팅될 경우, 배압은 진공 시스템 사용 설명서에 명시된 최대 한계를 초과하지 않는 것이 필수입니다. 적절한 유지 보수 프로그램을 채택해 공정 침전물이 배기 시스템과 화염 방지기를 차단하지 않게 해야 합니다.

실용적이지 않을 경우, 펌프와 화염 방지기 사이에 있는 압력 센터는 차단된 곳을 감지하는 데 사용해야 합니다. 필터와 응축기 등 다른 배기 장비도 유사한 점을 염두에 두어야 합니다.

순화 또는 위상 변화는 공정 파이프의 고체 침전물로 인한 막힘이나 과압 위험으로 이어질 수 있습니다. 배기 라인에 공정 침전물이 형성되면, 펌프가 높은 가스 유량으로 작동할 때 과압 상태가 발생할 수 있습니다. 일반적으로 이로 인해 모터 전류가 과부하되어 진공 펌프가 정지하게 되지만, 특정 조건에서는 진공 펌프가 상당히 위험한 과압을 발생시킬 가능성도 여전히 있습니다. 진공 시스템의 배기구에 공정 침전물이 쌓일 가능성을 평가해야 하며, 이를 피할 수 없는 경우에는 과압 상태를 감지하기 위해 어떤 형태의 압력 감지 장치를 사용해야 합니다. 압력 센서 자체가 공정 침전물로 인해 오염되는 것을 방지하는 데 주의를 기울여야 합니다.

진공 펌프 등 모든 배기 구성요소의 최대 및 권장 연속 배압용 진공 펌핑 시스템과 공급된 사용 설명서를 참조하십시오. 이러한 제한 사항을 충족하도록 배기 시스템을 설계하십시오.

연속 작동시 제한 사항은 펌프 지침 설명서를 참조하십시오.

3.1.1 배기 과압으로부터 보호

일반적으로 자유롭게 환기되는 배기 시스템에 연결된 배기 파이프로 작동할 것을 권장합니다. 그러나, 배기 시스템이 시스템 제한이나 차단을 일으킬 수도 있는 구성요소와 통합될 수도 있습니다. 그럴 경우, 과압으로부터 보호할 적절한 방법 또한 포함시켜야 합니다. 여기 방법의 예시가 있습니다.

구성 요소	보호 방법
배기 파이프라인의 밸브	밸브를 맞물리게 해 펌프 작동중 항상 열리게 하십시오.
	감압 측관을 통합합니다.
배기 스크러버	감압 측관을 통합합니다.
	압력 모니터를 포함하고 이를 펌프와 맞물려 배기 압력이 너무 높을 경우 중단되게 하십시오.
화염 방지기	배기 압력 측정.
	차별화된 압력 측정.

요약하자면, 배출 시스템의 압력이 최대 허용 가능 압력에 도달할 경우:

- 장치로 제한 또는 막힘이 있는 가스 경로의 압력을 줄이십시오.
- 압력원을 줄이십시오. 펌프를 중지하거나 압축 가스 공급 장치를 중단합니다.

3.1.2 배기구 막힘

진공 시스템의 배기구가 막혀 과압이 발생할 수 있는 원인은 여러 가지가 있습니다. 가장 눈에 띄는 점은 배기 라인에 밸브가 장착되어 있다는 것입니다. 밸브가 제대로 열리지 않을 경우, 진공 펌프가 압력을 발생시켜 위험한 과압 상태를 초래할 수 있음은 분명합니다. 밸브가 필수적인 경우에는 해당 밸브의 작동이 진공 펌프의 작동과 신중하게 연동되어야 합니다.

일부 응용 분야에서는 막힘을 방지하기 위해 펌프 및/또는 배기 파이프프에 온도 관리 기능을 적용할 수 있습니다. 이러한 기술은 증기압이 높은 공정 부산물에 적용될 수 있습니다.

3.2 흡입구 과압

3.2.1 압축 가스 공급장치 및 배압

이 파이프라인이 대기압보다 높은 압력의 영향을 받지 않는다는 믿음 때문에 펌프와 진공 시스템을 연결하는 파이프라인의 필수 압력 정격을 과소평가하는게 보통입니다. 실제로는 일반적인 설계 작동 조건에서만 해당하는 이야기입니다. 필수 압력 정격을 평가해 비정상적이거나 고장난 상태에서 발생하는 높은 압력을 감안해야 합니다.

펌프 흡입구 파이프라인에서 발생하는 과압의 일반적인 원인은 펌프가 작동하지 않을 때 압축 가스(퍼지 가스 등)가 유입되기 때문입니다. 흡입구 파이프라인의 구성요소가 이로 이한 압력에 적합하지 않을 경우, 파이프라인이 파열되고 공정 가스가 시스템에서 누출됩니다. 시스템에서 압력을 견딜 수 없는 공정 챔버로 가스가 역류하면 파열과 누출을 일으킵니다.

저압 흐름을 제공하도록 설계도나 압력 조절기로 압축 가스 공급장치를 시스템에 연결할 때, 압력을 시스템 정격에 맞게 하십시오.

일반적으로 사용되는 비환기 압축 조절기는 시스템의 공정 가스 흐름이 없는 조건에서 작동할 경우 시스템 내 압력을 일으켜 조절기에 대한 가스 공급 압력을 증가시킵니다. 따라서 다음 두 방법 중 하나를 사용해 과압을 막아야 합니다.

- 압력을 줄이고 가스가 펌프를 우회해 자유롭게 환기되는 배기구로 가게 하십시오.
- 시스템 압력을 모니터링하고 폐쇄압 밸브를 사용해 사전 설정 압력 수준으로 압축 가스 공급을 중단하십시오.

3.2.2 퍼지 시스템의 과압

진공 시스템에는 공정 가스를 안정적으로 배출하고 위험한 화학 반응을 방지하기 위해 퍼지 시스템이 장착되는 것이 일반적입니다. 이러한 퍼지는 매우 유용한 역할을 수행하지만, 시행 과정에서 신중한 고려가 이루어지지 않을 경우 그 자체로 과압 위험을 초래할 수도 있습니다.

퍼지 가스는 퍼지 가스 탱크나 실린더에서 공급되며, 2 bar(g)에서 10 bar(g) 사이의 공급 압력을 가지고 진공 시스템으로 유입됩니다. 대부분의 경우, 압력 조절기를 사용하여 이 압력을 낮춰야 합니다. 압력 조절기는 유입되는 공급 압력을 원하는 작동 압력으로 낮춰주며, 작동 압력이 0.1 bar(g)에서 1 bar(g) 사이인 것은 매우 일반적인 현상입니다.

퍼지 가스가 개방형 시스템으로 공급되는 경우, 이러한 제어식 퍼지 시스템은 원활하게 작동하지만, 시스템이 폐쇄형인 경우나 밸브를 닫는 등의 조치로 인해 폐쇄형 시스템이 형성되는 경우에는 과압 상황이 발생할 위험이 있습니다.

압력 조절기에는 두 가지 유형이 있습니다. 하나는 "릴리프" 조절기이고 다른 하나는 "비릴리프" 조절기 입니다. 이 두 조절기는 작동 방식이 다르며, 각각 고유한 위험 요소를 초래할 수 있습니다.

릴리프 조절기는 폐쇄된 시스템 내의 과잉 압력을 대기로 배출함으로써 압력을 조절하는데, 이는 유용한 기능으로 보일 수 있지만, 이 과잉 압력이 위험한 공정 가스의 형태일 수 있다는 점을 반드시 명심해야 합니다.

비릴리프 조절기의 경우, 개방형 시스템에서 사용하도록 설계되어 있어 과압 상황에서도 압력을 낮추지 않습니다. 비릴리프 조절기를 밀폐형 시스템과 함께 사용할 경우, 시간이 지남에 따라 조절기의 공급 측에서 시스템으로 소량의 가스가 누출될 수 있습니다. 결국 이로 인해 시스템은 공급 압력까지 가압될 것입니다. 대부분의 개방형 진공 시스템은 고장 발생 시 밀폐형 시스템으로 전환될 가능성이 있으므로, 이러한 유형의 장치를 사용할 때 고려해야 할 위험이 있습니다.

해결책 중 하나는 조절기와 진공 시스템 사이에 역류 방지 “체크” 밸브가 장착된 릴리프 조절기를 사용하는 것입니다. 조절기는 시스템 측의 압력이 설정된 압력으로 유지되도록 제어하며, "체크" 밸브는 시스템에서 조절기로의 가스 역류를 방지합니다. 체크 밸브는 25 mbar에 불과한 낮은 압력 차에서도 사용할 수 있어, 이에 따라 압력 강하를 최소화합니다. 진공 시스템 내에 다른 압력 발생원이 있는 경우, 과압 조절기가 이러한 과잉 압력을 배출하지 않으므로 이를 별도로 고려해야 한다는 점에 유의해야 합니다.

과압 배기 밸브를 사용하는 경우, 배출되는 가스의 종류와 가스가 배출되는 장소를 반드시 고려해야 합니다. 이를 고려하지 않을 경우, 유해한 공정 가스가 주변 대기로 배출될 가능성이 있습니다.

3.2.3 잘못된 펌프 작동

펌프가 올바로 작동한다고 확인될 때까지 특별 예방 조치를 따르십시오.

펌프 회전 방향이 잘못되었으며 펌프 흡입구가 막히거나 제한된 채로 작동할 경우, 펌프는 흡입구 파이프라인에 고압을 생성합니다. 이는 펌프, 파이프라인 및/또는 파이프라인의 구성요소 파열로 이어질 수 있습니다.

펌프의 회전 방향이 올바르다는 점이 확인될 때까지 나사로 펌프 흡입구에 느슨하게 고정된 블랭킹 플레이트를 항상 사용하십시오.

높은 회전 속도로 작동하면 펌프가 부서질 수 있습니다. 최대 설계 회전 속도보다 높은 회전 속도로 펌프를 작동하지 마십시오. 이는 특히 주파수 인버터를 속도 제어에 사용할 때 중요합니다.

위험 물질의 물리적 원인

3.3 온도

열 사이클링

장비가 열 사이클을 겪는 경우[예: 일반적인 진공 펌프 다운 사이클로 인해], 실란트나 기계적 장치를 통해 제대로 고정되지 않은 고정 장치 및 부속품이 시간이 지남에 따라 느슨해질 수 있다는 점을 유의해야 합니다. 열 사이클이 발생할 위험이 있고, 이로 인해 체결 부품이 풀릴 경우 위험한 상황이 초래될 수 있는 경우에는 해당 체결 부품의 조임 상태를 정기적으로 점검해야 합니다.

뜨거운 표면

진공 시스템 및 진공 펌프는 공정 특성상 뜨거운 표면이 발생하는 경우가 많습니다. 예를 들어, 일부 공정에서는 유해 가스의 응축을 방지하기 위해 배기 라인을 가열해야 합니다. 70 °C 이상의 고온 표면이 있는 경우, 해당 표면에 고온 표면 경고 라벨을 부착하는 것이 권장되며, 온도가 100 °C를 초과할 경우 접촉을 방지하기 위해 어떤 형태의 보호 장치로 표면을 보호해야 합니다.

주변 작동 온도

진공 시스템은 일반적으로 최대 주변 작동 온도 40 °C에서 작동하도록 설계되어 있습니다. 이 수준 이상의 온도에서는 진공 펌프 내의 탄성중합체 씰이 과열되어 누출이 발생하거나 유해한 분해 생성물이 생성될 가능성이 있습니다. 높은 주변 작동 온도와 관련된 위험 요소를 충분히 파악하도록 주의해야 합니다.

주변 온도가 낮으면 o- 링과 같은 탄성중합체의 취성화나 공정 부산물의 응결로 인해 유해한 액체가 생성되는 등의 위험이 발생할 수도 있습니다. 위험 분석 시에는 진공 장비의 최저 설계 온도와 공정 부산물이 응축될 가능성을 고려해야 합니다.

배기 라인 가열

공정 가스가 배기 라인 내에서 응축되거나 고체화되어 막힘, 부식 또는 폭발을 일으킬 가능성이 있는 경우에는 배기 라인 가열을 사용해야 합니다. 배기 라인 가열을 사용하는 경우, 특히 고장 발생 시 온도가 통제 불능 상태로 상승하여 파이프 내의 탄성중합체 씰이 과열될 수 있는 상황을 고려하여 해당 시스템의 안전성을 반드시 검토해야 합니다.

설계 온도

압력을 견디도록 설계된 용기나 파이프의 경우, 해당 용기나 파이프가 견딜 수 있는 최대 설계 온도를 정의해야 합니다. 시스템을 최대 설계 온도 이상에서 작동하지 마십시오.

3.4 요약 - 위험 물질의 물리적 원인

- 안전 계산을 수행할 때, 시스템의 모든 구성요소에 대한 안전 작동 압력을 염두에 두어야 합니다.
- 펌프 배기가 차단되거나 막히지 않게 하십시오.
- 어떤 진공 시스템이든지 압력 정격이 초과하는 고압 위험이 발생할 경우, 적절히 배치된 압력 측정 장비를 시스템에 포함할 것을 권장합니다. 과압 상태를 감지할 경우 제어 시스템에 연결해 시스템을 안전한 상태로 두어야 합니다.
- 진공 시스템과 펌프 구성요소의 필수 압력 정격을 평가할 경우 비정상적이고 고장난 상태를 고려하십시오.
- 올바른 감압 장치 유형을 포함시키고 응용 분야에 적절하게 등급을 매기십시오.

- 압축 가스 공급 장치를 적절히 규제하고 모니터링하십시오. 펌프의 전원이 꺼졌다면 공급장치의 전원을 끄십시오.
- 가능한 경우, 규제 퍼지에 대한 공급 압력은 시스템의 최대 허용 가능 정적 압력보다 낮아야 합니다. 또한, 감압은 구성요소 장애 시 가능해야 합니다.

4 시스템 설계

4.1 시스템의 압력 정격

위험 물질의 물리적 원인 / 페이지 23에서 논의된 바와 같이, 진공 시스템 파이프라인과 구성요소는 대기압보다 낮은 내부 압력으로 작동하도록 설계되었습니다. 그러나, 실제로는 보통 대기압보다 높은 내부 압력으로 사용하는 시스템 역시 설계하는 데 필요합니다. 필요할 경우, 결함 조건 동안 과압을 방지하기 위해 감압 장치를 장착해야 합니다.

항상 진공 상태에서 작동된다는 가정 하에, 고장난 상태에서도 흡입구 파이프와 기타 흡입구 구성요소가 시스템의 약점이 되지 않게 하는 것이 중요합니다.

배기 시스템은 항상 최소 배압을 작동 중 펌프로 제공하도록 설계되어야 합니다. 그러나, 적절한 압력 정격으로 배출 시스템을 설계하는 것이 중요합니다. 펌프로 생성될 수 있는 압력으로 압축 가스 시스템 유입 등에 사용하는 데 적합해야 하며, 사용한 과압 보호 방법을 활용해 사용하는 데 적합합니다.

위험 분석을 수행할 경우, 다음 사항을 항상 고려해야 합니다.

- 불황성 가스 연결부 등 외부 흡입구
- 특히 배기 라인을 비롯한 모든 원인의 분리 및 압축
- 공정 가스 간의 반응

관에 휘발성 액체가 있고 시스템 나머지 부분과 분리될 수 있으며, 외부 열의 적용(예: 불)으로 관의 설계 압력보다 내부 압력이 더 높을 수 있음을 참고해야 합니다. 이 경우 적합한 감압 필요성을 고려해야 합니다.

4.2 정체 부피 제거

정체 부피는 가스 흐름 동안 대상이 되지 않는 진공 파이프나 구성요소 내의 모든 부피를 의미합니다. 기계 부스터 펌프의 기어 박스나 기기의 게이지 헤드가 그 예입니다. 밸브 파이프와 질소 가스 흡입 파이프 또한 분리될 경우 정체 부피가 될 수 있습니다.

정체 부피는 일반적으로 공정 챔버에 함께 있지 않은 공정 가스의 혼합과 반응을 고려할 때 염두에 두어야 합니다. 파이프, 펌프, 공정 챔버는 일반적으로 가스 또는 가스 혼합물을 연속해서 선형으로 전달합니다. 그러한 선형 흐름으로 이동한 가스는 배출 가스의 속도가 제한/차단으로 인해 줄어들지 않을 경우 일반적으로 혼합되지 않습니다. 정체 부피는 퍼지되지 않으며, 시스템 압력이 상승하고 하락하면서 공정 가스로 채워질 수 있습니다. 이러한 방법으로, 공정의 한 단계에서 시스템을 통과하는 가스가 잔존할 수 있습니다. 이는 공정의 다음 위상에서 가스와 반응할 수 있습니다. 비호환 가스 간의 도입 중간에 챔버를 퍼징 및 완전하게 배출하여 폭발 위험으로부터 보호합니다.

정체 부피에서 교차 오염을 고려할 때 그리고 가스가 잠재적으로 폭발성이 있을 때 특별히 주의해야 합니다. 특히, 필터와 분리기 그리고 기타 구성요소에서 구축된 위험을 고려해야 합니다. 해당할 경우, 높은 무결성과 불활성 퍼지 가스의 지속적인 흐름을 사용해 교차 오염의 가능성을 줄이십시오. 이를 통해 문제가 될 수 있는 혼합물의 농도에 도달하지 않도록 할 수 있습니다.

가연성 물질을 펌핑할 때, 정체 부피가 일반 퍼징으로 제거할 수 없는 폭발성 가스나 증기로 채워질 수 있습니다. 점화원 또한 있을 때, 정체 부피의 특정 퍼지를 고려해야 합니다.

4.3 배기 추출 시스템

공정에 맞는 배기 추출 시스템 유형을 사용하는 것이 중요합니다. 이전에 명시한 대로, 추출 시스템은 작동 압력을 견디도록 설계해야 하며, 위험 물질을 생성하거나 처리할 때 반드시 충분히 누출 방지 처리시켜 공정 물질과 부산물을 포함하여 대기 중으로 위험 물질을 방출하지 않게 해야 합니다.

4.4 화염 방지기 보호 시스템 사용(HazLoc systems)

펌핑된 가스와 증기의 혼합물이 지속적으로 또는 오랜 기간(예: Zone 0 상태) 동안 가연성이고(가연성 공간 방지 / 페이지 14 참조) 점화원의 위험(점화원 / 페이지 29 참조)이 일반 작동 중 또는 예상 가능 오작동 중 활성화될 경우, 필요에 따라 기본 펌프에 화염 방지기를 장착해야 합니다(화염방지기 / 페이지 36참조). 공정 파이프를 따라 또는 주변 대기로의 화염 전파를 방지하기 위해, 화염 차단기는 진공 펌프를 사용하여 시험해야 합니다.

가연성 혼합물이 승인 및 테스트된 온도 트랜스미터에 오랜 시간 있을 경우, 흡입구 화염 방지기에 온도 트랜스미터를 설치해 지속적으로 화염을 감지해야 합니다. 지속적으로 화염이 감지될 경우, 펌프의 전원을 끄고 연료에서 분리해야 합니다. 승인된 화염 방지기와 온도 트랜스미터는 가까운 고객 센터에 문의하십시오. 화면 방지기와 펌프를 펌프의 흔치 않은 오작동에서(Zone 0) 보호하기 위해, 배출구 온도 트랜스미터를 펌프 배출구에 설치해야 합니다. 중단 시점은 펌핑 시스템에 따라 다릅니다. 펌프의 관련 HazLoc 설명서를 참조하십시오.

흡입구나 배출구의 온도 트랜스미터가 고장 상태를 나타내며 최대 한도에 도달했을 경우, 적절한 조치를 취해야 합니다. 이는 응용 분야에 따라 다르지만 다음을 포함할 수 있습니다.

- 연료 공급 중단 - 진공 펌프의 흡입구에 위치한 밸브를 닫아 연료를 진공 펌프로 공급하지 않음
- 점화원 중단 - 모터 전원을 꺼서 진공 펌프 중지
- 화재 공간 불활성화 - 불활성 가스를 화재 공간으로 빠르게 추가하면(일반적으로 펌프의 배출 매니폴드에 항상 위치해 있지 않음) 화면을 제거하게 됩니다. 점화원을 제거했을 경우에도 화염이 다시 점화될 수 있다는 점을 참고하십시오.

4.5 진공 시스템 내 물 누출

물과 접촉할 경우 위험을 초래할 수 있는 공정 가스 및 증기를 이송하는 경우에는 냉각수 시스템의 누출 방지 성능을 고려해야 합니다. 다른 냉각액을 사용할 수도 있으나, 이를 시행하기 전에 반드시 해당 지역의 고객 센터에 문의하십시오.

4.6 배기 가스의 역류

진공 펌프의 흡입구에 진공 상태가 유지된 채로 펌프의 전원을 끄면, 배기 파이프/시스템에서 배기 가스가 역류하게 됩니다. 이 가스에 공기/산소가 포함되어 있다면, 공정 가스와 원치 않는 반응이 일어나거나 내부에 침전물이 생길 수 있습니다. 이러한 가능성이 있는 경우, 배기 가스의 역류를 늦추기 위해 진공 펌프의 배기구에 체크 밸브를 설치하는 것이 권장됩니다. 또한, 진공 펌프가 정지했을 때 질소 퍼지를 실시하면 진공 시스템에서 공기가 완전히 제거될 수 있습니다.

4.7 점화원

진공 펌프를 사용해 가연성 혼합물을 펌핑할 경우, 모든 가능 점화원을 염두에 두어야 합니다. 아래에는 전체적인 검토의 일환으로 사용할 수 있는 고려 영역이 있습니다. 공정에 따라 일부 또는 모든 점화원을 방지할 수도 있습니다. 공정 상태나 시스템 요건으로 인해 점화원을 방지할 수 없을 경우, 그에 따라 시스템을 설계해야 합니다.

시스템 설계

참고:
일부 펌프는 내부 폭발이 포함되었다는 점을 확인하는(올바로 적용된 경우) 제3자 인증을 받았습니다.

- 기계 접촉 - 진공 펌프와 시스템 내부에 있는 회전 및 정지 부품의 기계 접촉은 점화원을 제공할 수 있습니다. 모든 진공 펌프는 모든 작동 상태 중 펌프 내에서 올바른 세척 실행을 위해 설계 및 구축되었습니다. 이러한 점화원을 피하기 위해, 내부 표면상의 물질 침전물을 방지하거나 펌프를 청소하는 것이 중요합니다. 베어링은 좋은 상태로 유지해야 하고, 공정 가스와의 접촉을 없애기 위해 충분한 윤활유와 적절한 퍼지 가스가 있어야 합니다. 안전하고 신뢰할 만한 작동을 보장하기 위해 베어링의 권장 유지 체제를 따라야 합니다.
- 입자 섭취 - 모든 펌핑 메커니즘은 공정으로 생성되거나 시스템 오작동 공정으로 인한 잠재적 입자 섭취가 있습니다. 이동 및 정적 표면 간에 이동할 경우, 열을 생성할 수 있습니다. 적절한 흡입구 스크린(망) 또는 필터는 입자가 진공 펌프로 유입되는 것을 막아 입자의 크기와 부피를 안전한 양으로 줄입니다. 흡입 화면이나 필터에 대해 적절한 유지 보수 체계를 마련하는 데 주의를 기울여야 합니다.
- 방진 구성 - 내부 틈에 미세 소형 방진 구성은 펌핑 메커니즘이 방진 생성 공정 중에 있을 경우 발생할 수 있습니다. 흡입구 방진 필터를 사용해도 작은 방진 입자가 펌프에 들어갈 수 있습니다. 열 변화에 의한 작은 치수 변화로 소형 방진이 이동 표면에 접촉하고 열을 생성할 수 있습니다. 또한, 이러한 열로 인해 먼지가 발화할 수 있습니다. 자세한 내용은 발화성 물질 / 페이지 18 항목을 참조하십시오.
- 압축 열(자동 점화) - 압축기 내 압축 내부 열은 펌핑되는 가스나 증기의 자동 점화 온도와 관련하여 고려해야 합니다. 펌프에 최소한 펌핑 중인 가스 이상인 온도 분류를 보장해야 합니다.
- 뜨거운 표면 - 가연성 가스나 증기가 뜨거운 표면에 접촉할 수 있는 곳에서는 자동 점화 온도를 초과할 경우 점화할 수 있습니다. 참고: 펌프 및 화염 방지기는 내부(및 외부) 표면 온도를 증가시켜 자동 점화시킬 수 있을 경우 절연시켜서는 안 됩니다.
- 외부 적용 열 - 예를 들어, 외부 적용 열은 진공 장비 근처에 화재가 발생할 경우 발생할 수 있습니다. 이라한 상태에서 시스템의 최대 정적 압력을 초과하는 내부 압력, 자동 점화 온도를 초과하는 온도를 생성할 수 있습니다. 이는 시스템 위험 분석의 일환으로 염두에 두어야 합니다.
- 뜨거운 공정 가스 흐름 - 높은 흡입구 가스 온도로 펌핑되는 물질의 자동 점화 온도를 초과하는 내부(또는 외부) 표면을 초래할 수 있습니다. 온도 흡입구 가스는 로터/스테이터 중지로 이어질 수 있습니다. 최대 허용 가능 내부 가스 온도는 진공 펌프 사용 설명서를 참조하십시오. 현지 고객 센터에 문의하여 자세한 안내를 받으시기 바랍니다.
- 촉매 반응 - 측정 물질이 있으면 촉매 반응이 일어날 수 있습니다. 진공 시스템의 모든 구축 물질은 펌핑된 가스나 증기를 활용하는 방식으로 수행하는 것을 고려해야 합니다.
- 발화성 반응 - 공기나 산화제 유입으로 인한 발화성 물질의 연소 열은 가연성 물질에 대한 점화원 역할을 할 수 있었습니다. 발화성 물질 / 페이지 18을 참조하십시오.
- 정전기 - 특정 상태는 정전기가 불꽃 형태로 접지하기 전 절연 구성요소를 구축할 수 있는 상황을 일으킬 수 있습니다. 정전기 발생 가능성은 시스템 설계의 일환으로 고려해야 합니다.
- 번개 - 외부에 있을 경우, 번개가 점화 에너지를 발생시킬 수 있습니다. 시스템 설계 시 이러한 상황의 발생 가능성을 염두에 두어야 합니다.

4.8 요약 - 시스템 설계

안전한 진공 펌핑 시스템을 설계하기 위해, 다음 사항을 고려해야 합니다. 응용 분야에 따라 고려해야 할 사항이 더 있을 수 있습니다.

- 위험 물질을 펌핑할 경우, 시스템이 안전 조건을 실패하지 않도록 설계해야 합니다.
- 산화제를 펌핑할 때 PFPE(퍼플루오르폴리에터)와 윤활유를 사용하십시오.
- 불활성 가스를 사용해 폭발성 또는 가연성 하한 미만의 가연성 가스 농도나 최소 또는 하한 산화 농도 미만으로 줄일 경우, 불활성 가스 공급의 무결성을 보장해야 합니다.
- 농도는 또한 폭발성 또는 가연성 상한 이상으로 유지할 수 있지만, 적절한 안전 예방 조치로 농도가 가연성 범위로 떨어질 수 없게 보장해야 합니다.
- 사용 전 필수 누출 방지를 보장하기 위한 누출 테스트 시스템과 장비.
- 가스가 대기 중으로 배출되거나 산화 가스와 혼합될 경우 발화성 가스를 불활성 가스를 활용해 안전 수치로 희석시키십시오.
- 시스템의 가스 경로 어디에서나 아지드와 나트륨이 중금속에 닿도록 해서는 안 됩니다.
- 시스템 최대 압력이 시스템 단일 부품에 대한 개별 안전 수준을 초과하지 않게 해야 합니다.
- 펌핑하려는 물질에 대해 제공된 안전 정보를 항상 확인해야 합니다.
- 스위프트된 볼륨 내의 오일로 인해 위험이 발생할 수 있는 경우에는, 오일 밀봉 회전식 베인이나 피스톤 펌프 대신 건식 펌프의 사용을 고려해 보십시오.
- 진공 펌프를 사용해 잠재적인 가연성 혼합물을 펌핑할 경우, 모든 가능 점화원과 폭발 가능성에 대한 잠재적 결과를 모두 염두에 두어야 합니다.

5 일반적인 관행

5.1 파이프 내 침전물 형성

일부 응용 분야에서는 진공 시스템의 전방 라인에 증착물이 형성될 수 있는데, 반도체 증착 공정 후 실리콘 층이 형성되는 경우가 그 예입니다. 이러한 고체 침전물은 증기상에서 형성되며, 여러 가지 위험을 초래하는 층을 이룹니다.

- 층이 늘어남에 따라 층이 떨어져 나와 진공 펌프 쪽으로 이동할 가능성이 있습니다. 경우에 따라 이러한 층으로 인해 진공 펌프가 손상될 수 있으며, 드물게는 이러한 층이 심각한 기계적 손상을 일으켜 펌프 케이스가 파열될 수도 있습니다.
- 이 층들은 진공 상태에서 증착되므로, 산소와 접촉했을 때 타는 것을 방지하는 보호용 산화막이 없는 경우가 많습니다. 이러한 물질들이 최종적으로 대기에 노출될 때는 각별한 주의를 기울여야 합니다.
- 상당한 두께의 침전물이 쌓이면 전방 라인이 막혀 진공 성능이 저하될 수 있습니다. 전방 라인의 벽면에서 공정 침전물이 떨어져 나올 가능성이 있는 경우, 가장 큰 입자를 포집하기 위해 전방 라인에 데드 레그를 설치하는 것이 권장됩니다. 또한, 펌프로의 입자 유입을 방지하기 위해 데드 레그나 사이클론 분리기 옆에 금속 메쉬 스크린을 수직으로 설치해야 합니다.

공정 침전물이 유해한 성질을 가질 수 있는 경우, 진공 시스템 사용자는 이러한 물질을 안전하게 취급할 수 있는 방법을 결정하기 위해 반드시 위험 분석을 수행해야 합니다.

5.2 주파수 인버터 사용 - 암호 사용

주파수 변환기는 진공 시스템의 성능을 향상시키기 위해 자주 사용되지만, 최대 회전 속도를 올바르게 설정하는 데 주의를 기울여야 합니다.

많은 주파수 인버터는 최대 200 Hz의 출력 주파수를 생성할 수 있으며, 이를 적절한 종류의 모터와 결합하면 12,000 rpm의 회전 속도를 얻을 수 있습니다. 대부분의 진공 펌프는 3000 rpm에서 6000 rpm 사이의 회전 속도로 작동하므로, 인버터에 실수로 이보다 더 높은 회전 속도가 설정될 경우 상당한 위험이 발생할 수 있습니다.

주파수 인버터를 사용하는 경우, 매개변수 목록에 설정된 최대 회전 속도에 대해암호로 보호하는 것이 좋습니다. 이를 통해 최대 속도 매개변수가 실수로 조정되는 것을 방지할 수 있습니다.

5.3 흡입구 밸브 위치

진공 시스템과 공정 챔버 사이에 위치한 흡입 밸브는 유지 보수 작업이 진행되는 동안 진공 시스템을 격리하는 데 자주 사용됩니다. 유지 보수 작업이 진행되는 동안 이 밸브가 올바른 위치에 있어야 합니다.

이 밸브의 위치가 안전 필수 요소에 영향을 미치는 경우, 안전한 운영 관행을 수립하기 위해 위험 분석의 일환으로 이를 검토할 것을 권장합니다.

5.4 고온 트랩

공정 가스가 진공 펌프에 도달하기 전에 핫 트랩을 사용하여 포집하거나 반응시키는 것은 그 자체로 위험을 초래합니다. 주요 위험 요소는 열적 위험이며, 이러한 트랩은 일반적으로 내부 온도가 수백 섭씨도에 달하는 상태에서 작동합니다. 이 온도는 일반적으로 외부 표면까지 완전히 전달되지는 않지만, 탄성중합체 재질의 o-링 등과 같은 인접 구성요소가 열로 인해 손상될 가능성이 있습니다. 고온 트랩을 지정할 때는 각별한 주의를 기울여야 합니다.

5.5 저온 트랩

대기압에서 일반적으로 기체나 증기 상태인 물질을 응축하기 위해 질소 냉포집을 사용하는 경우, 예기치 못한 온도 상승이 초래할 결과를 반드시 고려해야 한다. 액체 상태의 가스와 증기는 가열되면 대량의 기체/증기를 발생시키며, 이들이 밀폐된 시스템으로 배출될 경우 위험한 과압을 초래할 수 있습니다. 위험한 과압 발생 가능성을 방지하기 위해 시스템의 배기 방식에 대해 신중하게 검토해야 합니다.

5.6 응축기

응축기는 공정 유체에서 증기를 제거하는 데 매우 효과적인 방법이지만, 응축기가 막힐 가능성을 반드시 고려해야 합니다. 일반적으로 응축기는 그 아래에 액체가 배출될 수 있는 적절한 수액기와 함께 사용됩니다. 그런 다음 이 장치에는 수액기를 언제 비워야 할지 판단하는 데 사용되는 수위 표시기가 장착됩니다. 수액기의 액체를 완전히 배출하지 않으면, 액체가 진공 펌프로 넘쳐 흘러 배기 라인을 막을 가능성이 있습니다.

5.7 시스템 무결성 수준

불활성 가스 희석을 사용하는 보호 방법은 초기 섹션에서 논의되었습니다. 방법의 원칙은 공정 가스와 불활성 가스(일반적으로 질소)를 혼합해 폭발이나 반응이 일어날 수 없는 수준으로 희석할 수 있게 하는 것입니다. 가스 희석을 기본 안전 시스템으로 사용해 폭발 가능성으로부터 보호할 때, 높은 무결성 알람과 인터록 시스템으로 가스 희석 시스템이 작동하지 않을 경우 시스템 작동을 막아야 할 수 있습니다. 가스 희석 시스템의 무결성은 위험 평가(위험 분석) 중 고려해야 하며, 희석 시스템이 실패할 수 있는 내부 영역 지정(즉, 위험 수준)에 따라 달라집니다. 현재 모범 사례는 항상 위험 관리에 적용되어 시스템 무결성의 필수 수준을 결정해야 합니다.

예를 들어, 희석 시스템은 가연 공간 외부의 가연성 가스 농도를 유지하기 위해 사용되고 희석 실패로 펌핑된 가스가 가연성 공간 내부에 지속적으로 또는 오랜 기간(예: ATEX Zone 0 요건은 > 50%로 간주) 있게 될 경우, 희석 시스템은 다음 중 하나를 충족해야 합니다.

- 흔치 않은 오작동 시에도 전혀 문제 없는 페일세이프(failsafe) 방식이어야 함.
- 두 가지 결함이 있는 상태에서도 안전해야 함.
- 2개의 개별 희석 공급 시스템으로 구성되어야 함.
- 또한, 희석 시스템 실패로 인해 펌핑된 가스가 종종 가연성 공간 내부로 들어갈 경우(예: ATEX Zone 1 상태), 희석 시스템은 다음 중 하나를 충족해야 합니다.
    - 예상치 못한 오작동 시에도 전혀 문제 없음
    - 1개의 고장 상태에서도 안전해야 함.

희석 시스템 장애로 인해 펌핑된 가스가 가연성 공간으로 들어갈 가능성이 없을 경우 또는 짧은 기간 동안에만 그럴 경우(예: ATEX Zone 2 상태), 희석 시스템은 일반 작동시에도 안전해야 합니다.

6 올바른 장비 선택

응용 분야에 맞는 올바른 장비를 선택하려면 시스템을 작동하는 데 필요한 한도를 고려해야 합니다. 당사의 장비에 대한 기술 데이터는 당사의 제품 카탈로그, 마케팅 간행물과 장비의 사용 설명서에서 제공됩니다. 대부분의 경우 추가 정보가 요청 시 제공됩니다. 추가 정보는 당사에 문의하시기 바랍니다.

진공 시스템을 설계할 때, 다음과 같은 관련 기계 펌프 매개변수를 고려하십시오.

- 최대 정적 압력(흡입구 및 배출구)
- 최대 작동 흡입구 압력
- 최대 작동 배출구 압력
- 흡입구 및 배기구 구성요소의 전도도
- 펌프에 피팅된 기타 구성요소의 압력 사양
- 배기 라인이 막힐 경우를 대비한 압력 모니터링
- 오일 밀봉 회전식 베인과 피스톤 펌프의 경우, 다음과 같은 사항을 고려해야 합니다.
    - 가스 발라스트 유속
    - 오일 박스 퍼지 유속
    - 오일 박스 내 트랩된 가스와 증기
    - 오일 박스 내 오일에 흡수된 가스와 증기

최대 정적 압력은 펌프의 흡입구 또는 배출구 연결이 펌프가 작동 중이지 않을 때 노출될 수 있는 최대 압력을 정의합니다. 압력은 펌프의 기계적 설계에 따라 달라집니다.

오일 밀봉 회전식 베인과 피스톤 펌프는 대기압 이하의 흡입구 압력으로 작동되도록 설계되었으며, 최대 정적 압력 정격이 대기압 이상일 경우에도 작동 중 펌프의 최대 흡입구 압력이 대기압을 초과해서는 안 됩니다. 일부 제조업체에서는 펌프의 연속 흡입구 압력을 대기압보다 낮게 제한했습니다. 작동 중인 펌프의 최대 흡입구 압력은 최대 작동 압력이라고도 합니다.

최대 작동 압력이 제한된 이유는 펌프의 기계적 무결성과 반드시 관련되어 있지 않습니다. 최대 압력은 일반적으로 높은 흡입구 압력에서 펌프의 전력 소요량에 비례하며, 펌프 또는 전기 모터의 기계적 구성요소의 잠재적인 과열 위험과 관련 있습니다.

유사한 이유로, 진공 펌프의 흡입구 압력을 최대한 적게(일반적으로 0.15 bar 게이지 이하, 1.15 x 10^5 Pa, 지속적으로 작동할 경우) 유지할 것을 권장합니다. 펌프는 보통 무제한 배출로 작동하도록 설계되었으며, 0.15 bar 게이지(1.15 x 10^5 Pa)의 배출압은 보통 배기 추출 시스템과 처리 장비를 통해 배출 가스를 지원하는 데 충분합니다.

6.1 오일 밀봉 회전식 베인 및 피스톤 펌프

당사의 오일 밀봉 회전식식 펌프에는 E1M, E2M, ES 및 RV 시리즈 회전식 베인 펌프와 오일 밀봉 피스톤 펌프의 Stokes Microvac가 있습니다. 일반적으로 모든 진공 펌프는 대기압보다 낮은 흡입구 압력으로 그리고 대기 중으로 자유롭게 환기되는 펌프 배기로 작동하도록 설계되었습니다.

오일 밀봉 회전식 베인과 피스톤 펌프는 용적식 압축기이며, 배출구가 막히거나 제한된 경우 매우 높은 배기 압력을 생성할 수 있습니다. 이러한 경우, 압력은 펌프 오일 박스의 안전 정적 압력을 초과할 수 있으며, 시스템의 다운스트림 구성요소의 안전 정적 압력을 초과하는 경우도 많습니다(폴리프로필렌 스크러버 또는 진공 O링 조인트 등). 따라서 당사는 펌프 배출 라인의 높은 무결성의 배기 압력 센서를 장착할 것을 권장합니다.

이러한 희석 안전 수준에 도달하기 위해 가스 발라스트는 펌프의 오일 박스에 연결된 오일 박스 퍼지(이 설비 이용 가능)에 의해 증가될 수 있습니다. 발라스트와 오일 박스 퍼지 흐름 속도의 증가로 배출 시스템 전반에 걸쳐 이동된 양이 증가합니다.

당사의 모든 오일 밀봉 펌프는 가연성 및 폭발성 가스 혼합물을 유지하는 상당한 오일 박스 부피를 지니고 있습니다. 오일 박스의 오일은 증기와 가스성 부산물을 효과적으로 흡수하거나 응축할 수 있습니다. 오일에 트랩된 증기와 가스는 발화성 또는 독성일 수 있습니다. 따라서, 유지 보수 중 안전을 보장하기 위해 특수 처리 절차가 있어야 합니다.

6.2 건식 펌프

최대 작동 압력은 오일 밀봉 펌프에게 영향을 미치는 동일한 요소로 제한됩니다(즉, 펌프 또는 전기 모터의 기계 구성요소 가열의 잠재적 위험).

당사의 건식 펌프는 용적식 압축기이며, 매우 높은 배기 압력을 생성할 수 있습니다. 공정에 고체 부산물이 발생하는 시스템에 펌프가 통합되는 경우(및 배기 라인에 막힘 가능성이 있는 경우) 당사에서는 무결성이 높은 배기 압력 모니터를 설치할 것을 강력히 권장합니다. 스위치를 설정해야 하는 작동 압력의 펌프 지침 설명서를 참조하십시오.

당사의 건식 펌프는 높은 처리량의 가스 밸러스트 용량을 지니고 있습니다. 질소 등의 희석 가스 추가로 펌프 메커니즘이 반응 억제를 최적화할 수 있습니다. 가스 퍼지 유속은 펌프 사용 설명서를 참조하십시오.

6.3 파이프라인 설계

6.3.1 Bellows

벨로스는 깊은 주름이 있는 짧고, 얇은 벽면 구성요소입니다. 이는 펌프에서 진공 시스템으로 전달되는 진동을 줄이는 데 사용됩니다.

벨로스를 항상 양쪽 끝을 제약시켜 직선으로 설치한다. 올바로 설치될 경우, 벨로스는 작은 내부 양압을 견딜 수 있습니다(자세한 내용은 벨로스와 공급된 사용 설명서 참조). 건식 펌프 배출구에 벨로스를 사용하지 말고 꼬임 플렉시블 파이프를 사용하십시오(플렉시블 파이프라인 / 페이지 35 참조).

빈번한 주기 응용 분야에서 사용할 때 벨로스 피로 장애의 가능성을 염두에 두어야 합니다.

6.3.2 플렉시블 파이프라인

플렉시블 파이프라인은 벨로스보다 두꺼운 벽면 섹션이자 얇은 주름입니다. 플렉시블 파이프라인은 진공 시스템 구성요소를 편리하게 연결하는 방법으로 단단한 진공 파이프라인에서 정렬 불량이나 작은 이동을 보완하는 데 도움을 줍니다. 플렉시블 파이프라인은 상대적으로 굴곡을 심하게 해서 형성될 수 있으며 위치를 고정시킵니다.

플렉시블 파이프라인은 정적 시스템에 설치하기 위한 용도입니다. 반복적으로 굽히면 피로 장애를 일으킬 수도 있어 적합하지 않습니다.

플렉시블 파이프라인을 사용할 경우, 최단 길이를 사용하고 불필요하게 굽히지 마십시오. 배출압이 높을 수 있는 응용 분야에서는 꼬임 플렉시블 파이프라인을 사용해야 합니다.

꼬임 플렉시블 파이프라인은 섬유 스테인리스강 쇠끈의 외부 보호 층이 있는 벨로스입니다. 꼬임 플렉시블 파이프라인을 설치할 때, 꼬임 플렉시블 파이프라인과 공급된 사용 설명서의 최소 굽힘 반경을 준수해야 합니다.

6.3.3 앵커 지점

파이프라인과 파이프라인 구성요소를 올바로 앵커로 연결해야 합니다. 예를 들어, 벨로스를 앵커로 잘못 연결할 경우, 펌프에서 생기는 진동을 줄이지 못하고 파이프라인의 피로를 누적시킬 수 있습니다.

6.3.4 씰

진공 시스템의 어느 부품에서나 양압이 발생할 가능성이 있을 경우(고장난 상태에서도), 예상 진공 및 양압을 견딜 수 있는 적절한 씰 유형과 물질을 사용해야 합니다.

6.4 물리적 과압 보호

이전에 논의한 대로, 과압은 시스템 또는 구성요소 중 하나의 제한이나 막힘을 일으킬 수 있습니다. 과압은 펌프 또는 외부 압축 가스 공급장치의 압축 가스 흐름으로 인해 발생할 수도 있습니다(희석 시스템의 흐름 등). 시스템 과압을 보호하는 두 가지 주요 방법이 있는데, 압력 안정과 과압 알람/트립으로 다음 단락에서 설명됩니다.

6.4.1 압력 안정

파열판이나 압력 안정 밸브를 사용해 과압 상태를 안정화시킬 수 있습니다. 장치의 작동 압력은 시스템의 설계 정격 압력의 미만이어야 합니다. 공정 가스를 안전하게 환기시키고 제한 물질을 환기시키지 않는 영역에 연결된 적합한 파이프라인에 장치를 연결해야 합니다. 만약 공정으로 인해 고체 부산물이 생성될 경우, 압력 안정 장치를 정기적으로 검사해 막히거나 제약을 받지 않는지 확인해야 합니다. 이런 보호 장치를 설계할 때 파열판의 피로 수명이나 밸브 수명에 대한 압력 파동 효과를 고려해야 합니다.

6.4.2 과압 알람/트립

이러한 보호 방법을 당사에서 종종 사용합니다. 이러한 보호 유형은 어느 시스템에서나 권장되지만, 고체 부산물을 생성하는 시스템에 적합하지 않을 수 있습니다.

6.4.3 압력 조절기

환기와 비환기라는 두 가지 유형의 조절기가 있습니다. 환기 조절기는 가스를 대기 중으로 또는 개별 환기 라인으로 환기시켜 흐름 없이 지속적인 배출구 압력을 유지합니다. 환기 조절기는 파이프라인 진실성이 매우 중요한 경우 일반적으로 사용됩니다.

비환기 조절기는 흐름이 있을 때 지속적인 배출구 압력만 유지할 수 있습니다. 흐름이 없으면, 일부 조절기의 출입구 압력이 공급 압력 수준으로 상승할 수 있습니다. 상승 등급은 조절기의 특성과 출입구가 연결된 볼륨에 따라 다릅니다. 상승은 몇 분에서 몇 개월까지 걸릴 수 있습니다.

압력 조절기는 중단 밸브가 되도록 설계되지 않았으며 분리해야 할 때 적절한 분리 장치(솔레노이드 밸브 등)로 연소할 경우 사용해야 합니다.

또는, 안전하게 초과 압력을 환기하기 위한 조치를 취해야 합니다.

6.4.4 화염방지기

화염방지기는 폭발 방지 장치가 아닙니다. 파이프나 관과 더불어 불꽃면의 확대를 방지하도록 설계되었습니다(화염 방지기 보호 시스템 사용*(HazLoc systems)* / 페이지 29을 참조하십시오). 화면 방지기는 표면이 크고 전면관 화면에 대한 전도도 차이를 제공하여 화염을 점화시킵니다. 화염 방지기는 깨끗한 가스나 증기에 사용하는 시스템 사용에만 일반적으로 적합합니다.

가스 혼합물의 폭발 에너지는 압력과 함께 증가합니다. 대부분의 화염 방지기는 내부 압력이 대기압을 초과하는 영역을 보호하기 위해 설계되었습니다. 화염 방지기로 이어지는 배출 추출 시스템의 작동 압력은 최대 작동 압력을 초과해서는 안 됩니다. 그러나, 화학적 건식 진공 펌프와 사용하도록 인증된 방지기의 경우, 최대 허용 가능 압력은 해당 제품 사용 설명서를 참조하십시오. 진공 펌프의 최대 허용 가능 배압을 고려해야 합니다.

화염 방지기는 불꽃면에서 연소 열을 제거하여 작동하며, 최대 안전 작동 온도가 있습니다. 이 온도가 열 추적, 단열 또는 이를 통과하는 가스 흐름의 온도로 인해 초과되어서는 안 됩니다.

화염 방지기의 화염 방지 기능은 불꽃면의 속도에 따라 다르며, 이는 결국 점화원과의 거리에 달려 있습니다. 당사의 화학적 진공 펌프를 사용할 때, 흡인구와 배기구를 긴밀하게 연결시켜야 합니다. 펌프와 방지기 사이에 Elbows 및 Tee 조각을 사용하는 것은 특정한 상황의 일부 펌프에 수용 가능합니다. 당사에 문의해 자문을 받으십시오.

6.5 퍼지 시스템

흡입 가스 퍼지 시스템을 장비에 피팅해 공정 주기 종료 이후 시스템에 남은 공정 가스를 제거할 수 있습니다.

퍼지의 올바른 사용으로 부식성 제품을 제거하고, 펌프 손상과 화염 방지기 등 보호 시스템의 손상을 막을 수 있습니다. 또한, 공정 가스 제거로 원치 않는 잠재적인 위험한 화학 반응이 여러 공정 주기에서 사용한 물질 간에 발생하지 않도록 합니다.

6.6 요약 - 올바른 장비 선택

- 응용 분야에 맞는 장비 유형 선택
- 고장 시 안전을 보장하는 데 필요한 모든 적절한 안전 장치 통합
- 정체 부피 제거
- 시스템이 올바로 제어되고 규제되는지 확인
- 해당할 경우, 감압 장치 통합
- 해당할 경우 화염 포집기 사용
- 사용 전 누출 테스트 시스템 및 장비.

7 작동 절차 및 교육

장비의 작동 안전을 위해 적절한 교육, 명확하고 간결한 지침과 정기적인 유지 보수가 필요합니다. 진공 장비를 사용하는 모든 직원이 올바른 교육을 받고, 자격이 있으며, 필요할 경우 자문을 받도록 하는 것이 중요합니다.

당사의 장비와 관련된 작동 또는 안전 세부 사항에 대해 확실하지 않은 점은 저희에게 문의해 자문을 받으십시오.

진공 시스템의 안전성은 설계에 따라 크게 좌우됩니다. 그러나 경험에 비추어 볼 때, 특히 오용이나 고장의 가능성을 고려할 때 시스템의 올바른 작동이 그만큼 중요하다는 것이 입증되었습니다.

이곳에서는 특정 진공 시스템의 작동과 관련된 모든 위험 요소를 모두 나열할 수는 없습니다. 이는 최종 사용자가 적절한 위험 분석을 통해 확립해야 합니다.

특히 정상적인 작동뿐만 아니라 유지 보수 단계나 고장 발생 시의 대응 방안까지 포괄하는 상세한 작동 절차를 수립하는 것이 매우 중요합니다. 종종 이러한 계획된 작업들이 예상치 못한 위험과 잠재적인 피해나 부상으로 이어지는 경우가 많습니다.

다음은 발생할 수 있는 예기치 못한 위험의 유형을 파악할 수 있도록 몇 가지 예시를 제시한 것입니다:

- 진공 시스템 내에서 순수 금속 분말을 제조하는 공정은, 진공 시스템 내부의 대기에서 산소가 완전히 제거되도록 하기 위해 질소 퍼지 과정을 거쳐 수행됩니다. 공정 이상 발생 시, 손상된 구성요소를 제거하기 위해 챔버를 개방해야 할 필요가 있으며, 이 절차는 단 몇 분 정도 소요되는데, 이 시간 동안 흡입구 차단 밸브를 통해 진공 펌프가 챔버와 차단됩니다. 유지 보수 단계가 완료되면 챔버를 밀봉한 뒤 공정 펌프를 사용하여 진공을 형성합니다. 안타깝게도 이때 챔버 내부에는 대기 공기가 남아 있어, 이로 인해 진공 펌프로 공기가 급격히 유입되면서 반응성 금속 분말이 발화하게 됩니다.
- 가열로 설비의 경우, 공정 물질은 배기 라인에 설치된 필터를 통해 제거되며, 이 필터는 정기적으로 세척해야 합니다. 생산 압박으로 인해 세척 공정이 생략되었고, 시간이 지남에 따라 필터가 막혀 배기구의 과압으로 인해 진공 펌프가 트립되었습니다. 일반적으로라면 이는 안전한 상황이었을 것이지만, 공정 운영자가 녹색 시작 버튼을 계속 누른 채 모터의 과열 보호 장치를 무력화시켜 펌프를 다시 가동시키려 시도했다는 점이 문제였습니다. 그 결과, 진공 펌프에서 과도한 배압이 발생하여 필터가 폭발하게 되었습니다.
- 한 화학 공장에서, 부식성 부산물이 배기 라인으로 유입되기 전에 이를 포집하기 위해 진공 펌프에 배기 응축기가 장착되었습니다. 유지 보수 작동 절차 중 하나는 수위 상한 스위치가 수액기가 가득 찼음을 표시할 때 수액기를 비우는 것이었습니다. 배기 라인은 일반적으로 대기압 수준인 공통 배기관에 연결되어 있었으나, 고장으로 인해 압력이 더 높게 유지되고 있었다. 작업자가 수액기를 열어 액체를 배출하려 했을 때, 부식성 액체가 압력을 받아 뿜어져 나와 작업자 전신에 튀었고, 이로 인해 심각한 결과가 초래되었다.

8 진공 시스템의 개조

진공 시스템은 일반적으로 특정 목적을 위해 설계되며, 특정 용도를 염두에 두고 위험 분석을 수행하는 것이 일반적입니다.

진공 시스템을 다른 용도로 사용하거나, 펌핑되는 공정 가스가 어떤 방식으로든 변경될 경우, 당초의 위험 분석은 더 이상 유효하지 않게 되며 예상치 못한 위험이 발생할 위험이 있습니다.

진공 시스템을 개조하거나 공정 가스를 어떤 방식으로든 변경할 때마다 반드시 새로운 위험성 분석을 실시해야 합니다.

9 요약

- 위험 평가를 수행해 모든 위험 요소를 식별하고 가능하다면 제거하며 그렇지 않을 경우 완화하십시오. 이는 진공 시스템 설계, 구축, 시운전, 작동, 유지 보수 및 해체를 위해 실행해야 합니다.
- 시스템 내에서 가능한 모든 화학 반응을 고려하십시오. 고장난 상태에서도 발생할 수 있는 반응 등 비정상적인 화학 반응을 허용하십시오.
- 공정 물질, 예를 들어 자동 점화와 관련된 잠재적 위험 상황을 평가할 때 물질 안전 데이터시트를 참조하십시오.
- 희석 기술을 사용해 산화제 및 가연성 물질과의 반응을 최소화하십시오.
- 펌프 산화제와 발화성 물질을 펌핑할 때에는 펌프에 올바른 윤활유를 사용하십시오.
- 공정 생성 중이거나 아지드화 나트륨을 사용할 경우 펌핑 시스템의 가스 경로에 중금속을 사용하지 마십시오.
- 안전 계산을 수행할 때, 시스템의 모든 구성요소에 대한 안전 작동 압력을 염두에 두어야 합니다. 비정상적이고 고장난 상태를 고려해야 합니다.
- 올바른 감압 장치 유형을 포함시키고 응용 분야에 적절하게 등급을 매기십시오.
- 배기가 막히지 않게 하십시오.
- 희석 가스를 적절히 규제하고 모니터링하십시오.
- 위험 물질을 펌핑할 경우, 시스템이 안전 조건을 실패하지 않도록 설계해야 합니다.
- 산화제를 펌핑할 때 PFPE(퍼플루오르폴리에터) 오일과 윤활유를 사용하십시오.
- 불활성 가스를 사용해 가연성 및 발화성 가스를 안전한 수준으로 희석하거나 고장 등의 모든 공정 상태 중 적절한 안전 요소를 고려하는 가연성 / 발황성 하한을 넘도록 유지하십시오.
- 시스템 최대 압력이 시스템 단일 부품에 대한 최대 압력 정격을 초과하지 않게 해야 합니다.
- 배기량 내 오일과 관련된 위험이 존재하는 경우 오일 밀봉 펌프에 기본 설정된 건식 펌프 사용을 고려하십시오.
- 정체 부피를 제거하십시오.
- 시스템이 올바로 제어되고 규제되는지 확인하십시오.
- 해당할 경우 화염 포집기를 사용하십시오.
- 사용 전 누출 테스트 시스템 및 장비.

정상 작동 한계 - 정상 작동 한계를 초과하지 마십시오

진공 시스템을 구성할 수 있는 구성요소는 다양합니다. 어떤 경우든 이러한 구성요소들은 설계된 작동 한계 범위 내에서 선정하고 작동해야 합니다. 이를 준수하지 않을 경우 예기치 못한 오류가 발생할 수 있습니다.

요약

이 페이지는 의도적으로 비워둔 것입니다 .

이 페이지는 의도적으로 비워둔 것입니다 .

Leybold

Pioneering products. Passionately applied.

Leybold GmbH
Bonner Strasse 498
50968 Cologne
GERMANY
+49-(0)221-347-0
info@leybold.com
www.leybold.com