

열팽창은 뜨거운 때나 차가울 때도 문제를 일으킵니다!

2025년 8월호

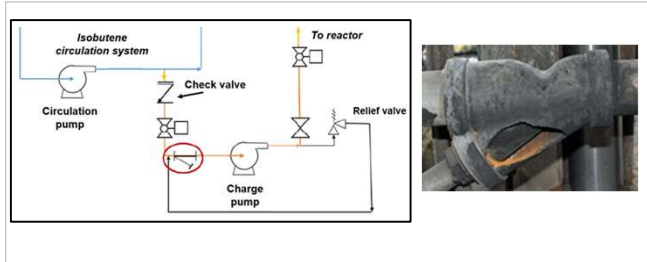


그림 1. 왼쪽: 2019년 사건의 개략도(CSB 보고서 번호 2019-02-I-TX). 오른쪽: 파열된 스트레이너(CSB), 개략도에서 빨간색 원으로 표시된 부분.

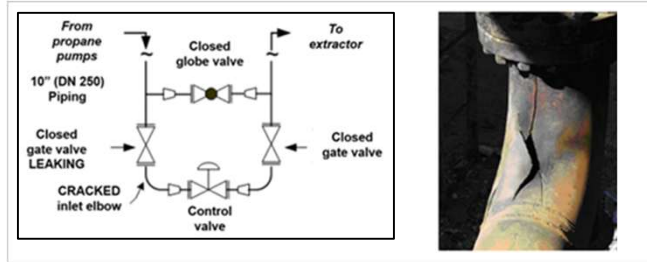


그림 2. 왼쪽: 2007년 사고의 개략도(CSB 보고서 번호 2007-05-I-TX 기반). 오른쪽: 갈라진 밸브전단의 엘보

2019년 4월, 특수 화학물질을 생산하는 한 시설에서 액체 아이소부텐이 들어 있는 배관의 일부 구간이 차단되었습니다. 시간이 지나면서 온도가 서서히 상승했고, 주철로 된 스트레이너가 파열되면서 손바닥 크기의 구멍이 생겼습니다. 아이소부텐이 누출되었고, 이어서 폭발과 화재가 발생해 31명이 부상을 입었으며, 그 중 한 명은 사망했습니다. 이 사고는 막대한 피해를 초래했습니다. 자세한 내용은 2024년 5월호와 7월호 Beacon을 참고하세요.

2007년 2월, 한 정유공장에서 배관 일부가 갈라지며 고압의 프로판이 누출되는 사고가 발생했습니다. 해당 배관 구간은 15년간 사용되지 않았지만, 여전히 가동 중인 배관과 연결되어 있었습니다. 이로 인해 화재가 발생해 4명이 부상을 입고 막대한 재산 피해가 발생했습니다. 사고의 원인은 차단 밸브의 미세한 누설이었습니다. 이 밸브를 통해 프로판 공급 라인에 포함된 소량의 물이, 차단된 것으로 보였던 배관의 낮은 위치에 모였습니다. 추운 날씨로 인해 물이 얼면서 배관이 동파되었고, 이후 얼음이 녹자 프로판이 외부로 누출되었습니다.(자세한 내용은 2008년 10월 Beacon 참고)

알고 계셨나요

- 물질은 일반적으로 온도가 오르면 팽창합니다. 이는 분자나 원자가 더 많이 움직이고 더 넓은 공간을 차지하기 때문입니다.
- 어떤 물질이든 기체 상태는 고체나 액체 상태에 비해 훨씬 더 큰 부피를 가집니다. 기체는 많은 빈 공간을 차지하는 물질로, 쉽게 압축되어 그 빈 공간이 줄어듭니다.
- 공기와 같은 기체의 경우, 온도가 0°C에서 273°C로 올라가면 부피가 두 배가 됩니다. 만약 배관이나 용기 내에 추가적인 부피가 없다면, 압력이 두 배로 증가합니다.
- 액체와 고체는 분자와 원자가 촘촘히 모여 있어 아주 높은 압력에도 잘 압축되지 않습니다. 가열되면 팽창하는데, 액체가 고체보다 훨씬 많이 팽창합니다. 뜨거운 유체가 흐르는 배관에는 이를 감안해 팽창 루프(expansion loop)가 배치되고, 기화로 채워질 공간이나 안전밸브 없이 액체만 갇혀 있으면 그림 1처럼 배관 설비가 파손될 수 있습니다.
- 물이 고체(얼음)로 변할 때 9% 팽창합니다. 이 현상은 얼음이 물에 뜨게 하고, 냉동실에 넣은 물병을 터뜨리며, 그림 2에서처럼 프로판 배관의 엘보를 파손시키기도 합니다.

무엇을 할 수 있나요?

- 설비의 일부가 단단히 고정되어 있지 않은 것을 발견했다면, 이는 열 팽창을 고려한 설계일 수 있습니다. 이를 임의로 수정하지 말고, 반드시 관리자와 상의하세요.
- 액체가 들어 있는 호스나 배관이 햇빛이나 열에 노출된 상태에서는, 안전밸브 같은 과압해소 장치가 없는 경우엔 차단하지 마세요. 이런 상황은 문제 해결 과정에서 쉽게 간과될 수 있으므로, 반드시 정해진 절차에 따라 격리 및 압력 해제를 진행해야 합니다.
- 주변 온도가 0°C 이하로 떨어질 수 있는 환경에서는, 배관에 물이 들어 있을 가능성이 있는 부분이 동결 방지 조치가 되어 있는지 확인하세요. 물 이외의 물질은 동결 온도가 다를 수 있으므로, 그에 맞는 온도에서 동결 방지(winterizing)를 해야 합니다

극심한 더위나 추위는 장비에 심한 "고장"을 일으킬 수 있습니다