

여러 가지 오류로 인한 수소 누출과 화재 발생

2025년 9월



그림 1. 수소 튜브 트레일러 충전



그림 2. 충전 중인 트랙터-트레일러 손상

참고: 수소 안전 패널 보고서 PNNL-31015-1

2019년 6월 1일, 캘리포니아주 산타클라라에 있는 수소 트레일러 이송/충전 시설에서 고압 수소가 누출되었습니다.

운전사와 수습직원은 근처 수소 탱크에서 수소 튜브 트레일러를 충전하고 있었습니다. 트레일러 모듈이 약 95% 채워졌을 때, 수습직원은 충전 라인 수동 격리 밸브 근처에서 수소 누출을 발견하고 운전사에게 알렸습니다. 운전사는 수습직원에게 충전 작업을 중지하라고 지시했습니다. 수습직원은 두 모듈의 충전을 중단했지만, 트레일러를 충전 시스템 배관에서 분리하지 않았습니다. (그림 1) 운전사는 수동 밸브(화살표)를 닫아 앞쪽 모듈을 공급에서 격리하고, 충전 집합 배관의 압력을 낮춘 후 누출을 수리하기 위해 배관을 분리했습니다. 그러나 운전사는 수리를 완료할 부품이 없었고 수습직원에게 수소 공급을 차단하라고 지시했습니다. 수습직원은 잘못된 제어 버튼을 눌러 충전 작업을 실수로 재개했습니다. 이로 인해 트레일러의 공급 밸브가 열리고, 분리된 배관을 통해 고속으로 수소가 유출되었습니다. 수소-공기 혼합물이 점화되어 수소-공기 폭연(deflagration) 폭발이 일어난 후 제트 화재가 발생했습니다.

화재와 폭발은 배관에 손상을 입혔고 (그림 2), 수소 온도-압력 해소 장치가 작동하며 사고에 연료가 추가되었습니다. 화재는 인접한 차량의 다른 물질로 번졌습니다. 이번 사건에서 약 250kg(550lbs)의 수소가 누출되었습니다. 다행히도 큰 부상자는 없었습니다.

알고 계셨나요?

- 수소는 가장 작은 분자로 매우 작은 틈을 통해 누출될 수 있습니다.
- 수소의 점화 에너지는 0.02mJ입니다. 이에 비해 천연가스는 0.29mJ의 점화 에너지가 필요합니다.
- 배관 시스템은 복잡할 수 있으며, 적절히 격리하기 위한 배관&계장 도면과 절차가 필요할 수 있습니다.
- 수리는 설비가 적절히 위험으로부터 격리되었을 때만 시도해야 하며, 승인된 인원만이 수행해야 합니다.
- 위험 물질 배관에 대한 수리는 승인된 절차와 방법을 따라야 합니다.
- 작업 중지 권한은 직원이 안전하게 작업을 수행할 수 있는 훈련이나 절차가 미흡하다고 판단한 경우 해당 작업을 중지할 수 있도록 합니다.

무엇을 할 수 있을까요?

- 격리 또는 잠금-표지(LOTO) 절차를 사용하세요. 연결부위 개방하기 전에 배관을 검사하여 모든 밸브가 올바른 개폐위치에 있는지 확인하세요.
- 누출이 발생하면 회사의 누출조치 절차를 따르세요. 가능하다면 누출을 안전하게 격리하고, 해당 담당자들에게 알리세요.
- 공정 제어는 쉽게 이해할 수 있어야 합니다. 제어 표지가 이해하기 어려운 경우, 명확한 설명을 요청하세요.
- 수리 작업은 훈련을 받고 승인된 사람만이 수행합니다.
- 새로운 직원과 작업할 때는 말은 작업에 대한 명확한 지침을 제공하세요. 단순히 말로만 설명하기보다는 올바른 시범을 보여주는 것이 더 좋습니다.

누출이 발생하면 절차를 따르고 도움을 요청하세요.