

반응기의 과냉각이 반응 폭주를 일으킬 수 있을까?

2018년 7월

1996년 영국의 염료플랜트에서 600 US 갤런 (약 2.3 m³) 용량의 회분식 반응기가 폭발했습니다. 반응 공정에선 아민과 황산이 들어있는 니트로실황산(nitrosyl sulfuric acid, 이하 NSA)이 섭씨 30 ~ 40도로 유지되는 반응기에 투입되고 있었습니다. 이 반응 공정은 열을 발생하는 발열공정이었습니다. 원료의 공급에는 약 5시간이 걸리며, 공급 작업은 수동으로 조작되었습니다. 이 공정은 수년간 운전되어 왔으며, 수백번의 회분식 반응은 아무 문제없이 수행되었습니다.

NSA주입 초기 단계에서 반응기가 거의 섭씨 50도까지 과열되어 원료 주입 작업이 중단되었습니다. 반응기는 이후 섭씨 25도 (과냉각)로 냉각되었고 원료 주입 작업이 재개되었습니다. 원료 주입 작업이 완료되었을 때, 반응기 내부 온도가 이용 가능한 냉각 장치로는 제어할 수 없을 수준으로 상승했고 온도 센서로 기록할 수 있는 최대치를 넘어섰습니다. 반응기는 반응 폭주로 인해 과압 상태가 되었으며 이윽고 폭발했습니다. 반응기의 아래쪽 부분은 반응기 지지대를 밀어내고 건물 바닥을 파괴 들어갔습니다. 반응기 교반기는 건물 지붕 위로 날아갔고, 반응기 상부는 약 150 미터 떨어진 곳에서 발견되었습니다. 다행스럽게도 사상자는 발생하지 않았습니다. 이 사고의 직접적인 피해액은 2백만 파운드가 넘었습니다.

Reference: Partington and Waldram, *IChemE Symposium Series*, No. 148, pp. 81-93, 2001.

반응폭주로 인한 피해사례

Jacksonville, Florida, 2007



Morganton, North Carolina, 2006



알고 계신가요?

- ▶ 대부분의 발열 화학반응의 속도는 온도가 상승하면 빨라지고 온도가 감소하면 느려집니다. 만약 반응 온도가 너무 낮다면, 반응 속도는 느려지고, 미반응 물질이 반응기 안에 쌓일 수 있습니다. 만약 반응기 온도가 그 뒤로 상승하면, 미반응 물질이 반응 가능한 상태가 될 것입니다. 만약 반응기 안에 충분한 미반응 물질이 있다면, 반응으로 발생한 에너지는 반응기의 냉각 용량을 넘어설 수 있습니다.
- ▶ 반응기 운전 온도에서는 중요하지 않은 기타 반응들 (예: 분해 반응)이 고온 조건에서는 보다 강하게 나타날 수 있습니다. 이런 기타 반응들은 더 많은 에너지를 방출하고, 가스상의 반응 결과물을 생성하여 반응기 내부 압력을 상승시킬 수 있습니다.
- ▶ 이 사고에서는 약 30%의 미반응 NSA가 반응기가 과냉각 되었을 때 반응기 안에 남아있었다고 생각됩니다. 실험실 연구 및 컴퓨터 시뮬레이션에서는 이번 사고의 미반응 물질 축적이 반응 폭주를 일으키기에는 부족할 수 있다는 결과가 나왔습니다. 반응 폭주를 위해서는 반응기 재킷으로의 수증기 누출 같은 다른 열 공급원이 필요할 수 있습니다. 만약 다른 열 공급원이 있다면, 미반응 NSA가 반응하는데 이용가능한 에너지가 반응 폭주를 더 쉽게 일어나게 했을 것입니다.
- ▶ 설비에서의 누출이나 다른 오작동이 화학 반응으로 인한 사고를 일으키거나 사고 발생에 기여할 수 있으므로, 반응기 시스템의 정상적인 작동을 확인하는 것이 중요합니다.

무엇을 할 수 있을까요?

- ▶ 플랜트에서 이용하는 반응 중 어떤 반응이 발열 반응이고, 어떤 반응이 반응물 누적 시에 제어불가능하게 될 수 있는지 알아야 합니다. 예시로 중합반응, 질화반응, 술폰화반응, 산염기 반응, 및 산화반응이 있겠습니다.
- ▶ 많은 화학 반응에서 온도 상한만이 안전 면에 있어 중요하게 아니며, 온도 하한도 중요하다는 사실을 알고 있어야 합니다. 반응기의 과냉각은 이후 제어할 수 없을 정도로 반응기 과열을 일으킬 수 있는 미반응 물질의 축적을 야기할 수 있습니다.
- ▶ 중요한 안전 변수 (온도, 압력, 유량, 혼합 등 공정에 중요한 변수)의 이탈이 야기하는 결과를 이해해야 합니다. 너무 높거나 너무 낮은 이탈의 결과를 알아야 하고, 이탈 발생 시에 어떤 조치를 취해야 하는지 알아야 합니다.
- ▶ 여러분의 플랜트에서 화학 반응 공정을 이용하지 않더라도 저온은 여전히 문제를 일으킬 수 있다는 명심하세요. 예를 들어, 낮은 온도의 액체는 얼거나 점도가 높아지거나, 용액에서 고체로 석출될 수도 있습니다..

공정 운전 상태가 너무 차가워도 안전하지 않을 수 있습니다!

© AIChE 2018. 판권소유. 비상업적이거나 교육적인 용도로의 전재는 권장됩니다. 그렇지만 AIChE의 승인없이 어떠한 상업적인 용도로도 사용하지 않습니다. ccps_beacon@aiiche.org 으로나 1-646-495-1371번으로 연락주세요.