Flow conditioners

질산 공장에 적절한 유동 조절기(Flow conditioner)를 채택하여 생산성 향상을 이룬 Koch사의 공정 집적화 사례를 소개하고자 한다.

공정이 성공적이려면 유체가 흐를 때 단면적을 따라 유속 및 농도가 균일하게 분포되게 하는 것이 매우 중요하다. 특히 거어즈 형태의 귀금속 촉매상에서 수백도의 높은 온도에서 반응하는 성분을 포함한 가스가 사용되는 공정에서는 균일한 유속 분포가 생산량과 촉매의 수명에 결정적인 영향을 미친다. 이러한 예는 질산의 제조나 HCN의 합성 공정에서 볼 수 있다.

질산을 생산하기 위해서는 부피비로 8%의 암모니아가 공기와 혼합되어 Rhodium-Platinum 거어즈 촉매에서 산화된다. 암모니아와 공기의 혼합이 균일하지 않거나 유속의 분포가 균일하지 않을 경우 촉매 표면 위에 온도 분포가 균일하지 않게된다. 촉매 반응이 국지적으로 과도하게 일어날 경우 암모니아의 전환율이 저하되고 촉매 수명 또한 저하된다.

상업적인 질산 공장에서는 암모니아와 공기의 혼합 유체가 촉매와 접촉하기 전 엘보우관, 원뿔형 팽창관 또는 타원형 덮개를 지나게 된다. 그러므로 혼합 유체가 촉매와 접촉하기 전에 균일한 유속 분포를 갖게 해야만 한다.

Flow through elbows

특별한 조치를 취하지 않을 경우 엘보우관의 출구에서 유속의 분포는 균일하지 못하다. 엘보우의 외경의 유속이 내경에서의 유속보다 더 크게 나타난다. 평탄한 유속 분포를 이루기 위하여 대개는 다공판을 설치한다. 다른 방법으로는 회전하는 날개 같은 장치인 CRV(Cheng Rotating Vanes, 그림1)를 엘보우관 입구에 설치하면 평탄한 유속 분포를 얻을 수 있다.

CRV의 날개는 파이프의 축을 중심으로 엘보우관에 투입되는 유체를 회전시킨다. 이 회전으로 인하여 엘보우관 외경쪽의 유체가 안쪽 방향으로 향하게 된다. 유체의 모든 구성 요소가 엘보우관의 입구에서부터 출구까지 거의 같은 거리를 지나가게 된다. 이 결과로 엘보우관 출구에서 평탄한 유속의 분포를 얻을 수 있다. 이 효과는 CFD 모사와 실험에 의하여 검증되었다. 그림 2와 3에 이 결과를 자세히 나타내었다.

CRV가 없을 경우 엘보우 단면적의 20%가 평균 유속에 비해 낮은 값을 갖고 40%가 높은 값을 갖게 된다. CRV를 설치할 경우 관 단면적에서의 유속 분포가 최적화된다. 평균 유속과의 표준편차는 3배 정도 감소하여 20%에서 7%로 감소하게 된다.

이 장치의 장점은 CRV가 없을 경우와 비교할 때 압력 강하가 20%밖에 증가하지 않는다는 것이다. 그러므로 공장을 개조할 때 설치하기에 적합하다. 유사한 효과를 내는 다공판의 경우는 5 에서 10 속도 높이앞을 나타낸다. 파이프에서의 속도는 대략 15 m/s이고 암모니아와 공기의 혼합 유체의 밀도는 이 조건에서 3kg/m^3이다. 이 때 다공판을 사용할 경우의 압력 강하는 17에서 34 mbar인데 반하여 CRV의 경우는 0.7 mbar밖에 되지 않는다.

Flow in expansions

유체가 파이프로부터 직경이 큰 반응기로 투입될 때 많은 문제점이 발생할 수 있다. 팽창이 짧은 거리에서 이루어지거나 압력 강하가 높은 다공판이 없을 경우 유동은 단면적에 균일하게 분포되지 않는다. 중심 부분에서만 가장 높은 유속을 나타내게 된다. 이 효과는 거어즈 형태의 Rhodium-Platinum 촉매의 수명에 부정적인 영향을 주게 된다.

동심의 팽창의 경우 LAD(Large Angle Diffuser, 그림1)를 설치할 경우 전 단면적에 걸쳐 균일한 유속 분포를 얻을 수 있다. LAD는 초점이 같은 여러 개의 잘려진 원추가 겹쳐져 있는 형태이다. 주변 원추와의 각도는 15°이다. LAD가 없을 경우에 팽창관의 가운데서 제일 큰 유속이 나타나고 벽 쪽에서는 역류된다. LAD를 사용할 경우 팽창관의 전 단면적에 걸쳐 균일한 속도 분도를 얻을 수 있다. LAD를 사용하지 않은 경우와 사용한 경우의 유속 분포를 그림4와 5에 각각 나타내었다. LAD를 설치하여도 압력 강하는 나타나지 않는다. 그 이유는 유체가 팽창되기 때문이다.

타원형 덮개의 용기의 경우에는 LAD가 적합하지 않다. 다원형 덮개의 용기의 경우는 다공판을 설치한다거나 링과 배플을 함께 설치하는 등 여러가지 해법이 있다. Koch사에서는 그림 6과 같은 EHD(Elliptical Head Distributor)를 개발하였는데 이 것은 노즐의 입구 부분에 쉽게 설치할 수 있다. EHD는 짧은 거리에서 가스가 팽창할 때 유속이 균일하게 분포하게 하기 위하여 설계되었다. EHD는 다공성 원추를 밀집해 놓은 형태이고 파이프와 함께 구성되어 있다. 이 특수한 구조가 각 원추에서의 압력 강하를 균등하게 하고 가스의 분배를 원활하게 하기 위하여 원추의 출구에 다공판이 설치되어 있다.

EHD에서의 압력 강하는 적용 대상 및 달성하고자 하는 결과에 달려있고 대개는 다른 기존의 장치에 비해 압력 강하가 낮게 나타난다. 낮은 압력 강하, 쉽게 부착할 수 있는 설계, 용기의 머리 부분에 다른 부착물이 없다는 것, 현장에서 바로 적용할 수 있다는 점이 공장 개조 시에 쉽게 설치할 수 있는 장점이 된다.

Benefits for nitric acid plants

CRV, LAD, 및 EHD를 설치했을 때 질산 공장에서 다음과 같은 성과를 얻을 수 있었다.

- 거어즈 형태의 촉매에 균일한 혼합 유체와 속도 분포를 적용할 있다.
- Hot spot를 제거하고 거어즈 촉매 전체에 균일한 온도 분포를 이루었다.
- 암모니아 전환율을 2%에서 4%로 증가시켰다.
- 거어즈 촉매 수명을 20%에서 40%로 증가시켰다.

그림1. CRV와 LAD의 구조

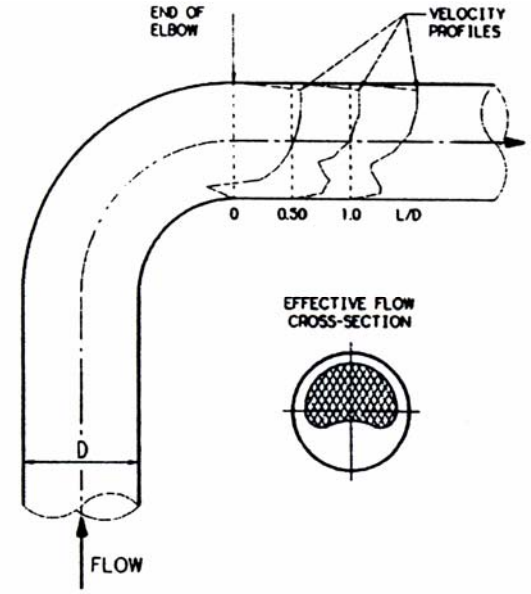

그림2. 엘보우관에서의 유속 분포

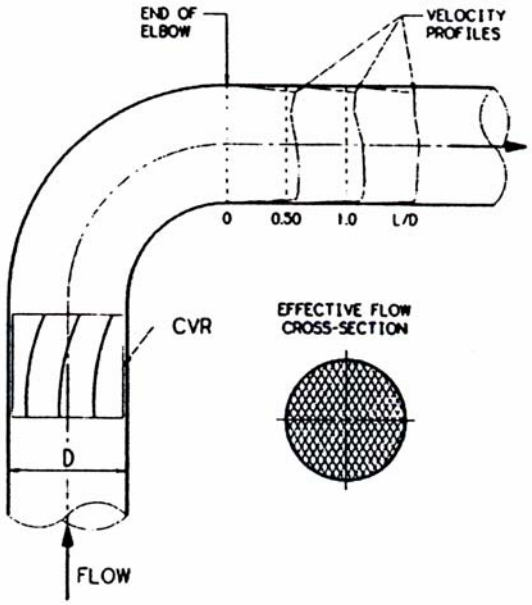

그림3. CRV를 적용한 엘보우관에서의 유속 분포

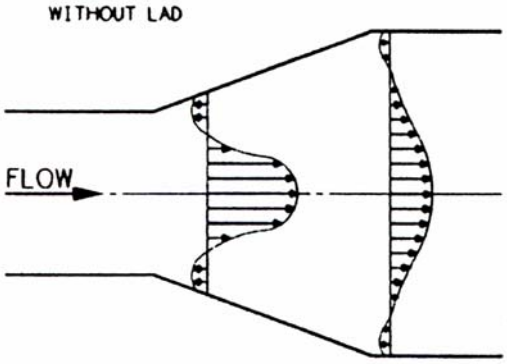

그림4. 팽창관에서의 유속 분포

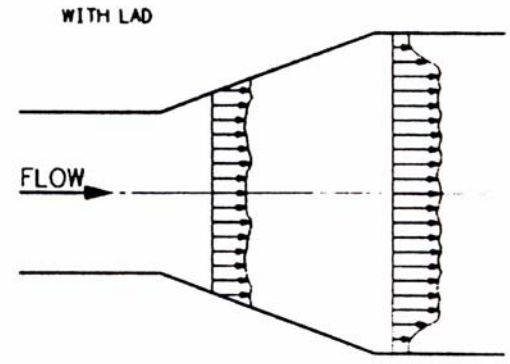

그림5. LAD를 적용한 팽창관에서의 유속 분포

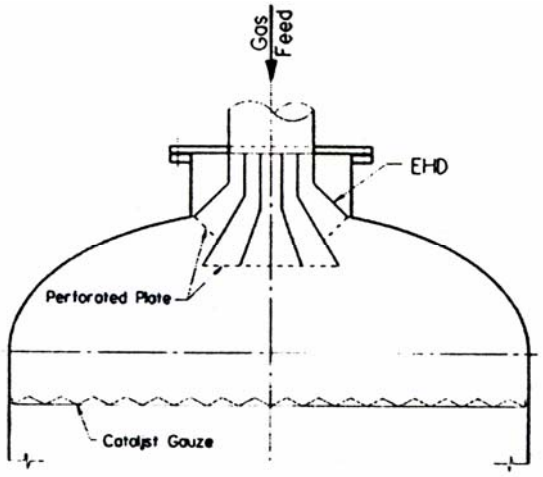

그림6. EHD