

Membrane gas absorption

네델란드 TNO Institute of Environmental and Energy Technology에서 개발된 막 기체 흡수기의 원리와 장치를 설명하고 현장에서의 성공 사례를 공정직접화의 한 예로서 소개하고자 한다.

Principle of membrane gas absorption

막은 액체와 기체 간에 투과할 수 있는 벽을 형성할 수 있다. 기상의 오염 물질들이 막의 기공을 통하여 확산되고 액체의 의하여 흡수된다. 기체와 액체의 접촉 면적은 막에 의하여 결정되고 기체와 액체의 유속과는 무관하다. 분배되는 선택도는 흡수제에 의하여 결정된다. 액상에서의 흡수는 물리적인 분배나 화학 반응에 의하여 결정된다. 그림1에 다공성 막을 나타내었다.

특히, 중공사막 모듈을 사용할 경우 매우 효율적인 기-액 접촉기를 개발할 수 있다. 기체를 흡수하는 공정에 사용되는 흡수제의 대부분은 막 흡수제로 사용될 수 있다. 막을 이용한 기체 흡수기의 운전에서 기체와 액체가 섞이지 않게 하는 것이 필수적이다. 이 의미는 흡수하는 액체가 기공을 통하여 전달되지 않는 것을 말한다. 이 공정은 기공의 크기, 막 앞•뒤의 압력차, 막 물질과 흡수하는 액체 사이의 상호작용에 영향을 받는다. 이 표면 현상은 Laplace 식으로 설명할 수 있다.

$$\Delta p = -2(\gamma/r)\cos\theta$$

Δp : 압력차 [N/m^2]

γ : 액체의 표면장력 [N/m]

r : 기공의 반지름 [m]

θ : 접촉각

막의 기공은 접촉각이 90° 보다 클 경우 찢지 않는다. 압력차는 기공의 크기에 좌우된다. 수용액에 대한 막 재질로 적합한 것은 폴리프로필렌, 테프론과 같은 비극성 고분자이다. 온도가 증가함에 따라 표면장력이 감소하게 되는데 break-through 압력도 같이 감소한다.

Engineering aspects of membrane gas absorption

막 기체 흡수기를 사용할 경우 기존의 충전탑과 같은 접촉장치에 비하여 여러

장점이 있다.

- 접촉장치의 운전이 기체와 액체의 유속과 무관하다
- 동반흐름, 범람, 편류, 거품발생이 생기지 않는다.
- 증공사막을 사용하기 때문에 장치가 작아질 수 있다.

증공사는 작은 크기 때문에 $1000 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 이상의 높은 단위 부피 당 면적을 나타낸다. 이런 이유로 기존의 흡수기가 $100 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 정도의 작은 단위 부피 당 면적을 나타내는 것에 비하여 증공사막을 이용한 흡수기가 비용 및 운전 측면에서 큰 장점이 있다. 이 것은 또한 작은 용량의 펌프를 사용 가능하게 하며 흡수기의 투자비를 줄일 수 있다.

막 흡수기는 충전탑과 달리 주어진 공정에서 최적의 액체 유속에서 운전할 수 있다. 이 것은 기체/액체의 극단적인 비율(1000보다 큰)에서도 운전이 가능하게 한다. 이런 조건은 기존의 접촉기에서는 불가능하다.

현재의 증공사막 모듈은 여과 기능을 수행하게 설계되어 있다. 섬유 주변의 유체의 분포는 잘 알려져 있지 않고 물질전달이 원활치 않다. 막 기체 흡수기를 개발하기 위해서는 새로운 모듈 설계가 매우 중요하다. 모듈 설계의 주요 특성을 살펴보면 다음과 같다.

- 막 양면에 유체의 상태를 잘 알아야 한다.
- Scale-up이 쉬워야 한다.
- 맞흐름 운전이 가능해야 한다.
- 물질전달 속도가 커야 한다.
- 압력강하가 작아야 한다.

그림2는 접촉하는 역할을 잘 수행하기 위한 모듈의 기본 설계도이다. 필수적인 구성 성분 중 하나는 교차흐름 운전인데, 유체가 섬유와 수직 방향으로 투입된다. 기체를 흡수하는 액체는 섬유를 통해서 투입된다. 이 설계는 필요한 성능을 나타내고 있다. 기존의 막 모듈과 다른 또 하나의 장점은 투입되는 유체가 섬유의 바깥쪽에 있으므로 앞의 면적이 감소될 수 있다. 그러므로 섬유에 의하여 가로막히지 않는다. Scale-up은 그림2와 같이 각 막 모듈을 쌓아서 구현할 수 있다.

Application- SO_2 removal from flue gas

막 흡수기가 현지 조건에서 운전되는 것을 보이기 위하여 산업 현장에서 3 번의 생산 기간 동안에 파이롯 규모의 연구가 진행되었다. 목표는 유량이 $100 \text{ m}^3/\text{h}$

크기에서 아황산의 배출을 90% 이상 감소시키는 것이었다. 동시에 흡수 액체로 선정되어 현재 사용되고 있는 Sodiumbisulphite 용액이 감자 전분 공장에서 재사용될 수 있는지 여부를 결정하는 것이다.

파이롯 규모의 연구를 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 95% 이상의 아황산을 회수하였다.
- 막 흡수기는 쉽고 유연하게 운전할 수 있었다.
- 막 흡수기는 fouling에 큰 문제가 없었다.
- 흡수 액체를 다시 사용하는 것이 가능하였다.

기존의 스크러버에 비하여 막 흡수기가 낮은 투자비로 설치가 가능하다는 견적이 나왔다. 사용한 Sulphite 용액은 식품이나 종이 산업과 같은 다른 산업에서도 적용이 가능하다.

Conclusion

기체 막 흡수기는 적당한 다른 재생 공정과 결합하여 제품을 생산할 수 있을 뿐만 아니라 환경 문제를 예방할 수 있는 새로운 공정이다. 관련된 장치가 기존에 장치에 비해 작고 매우 탄력적이다.

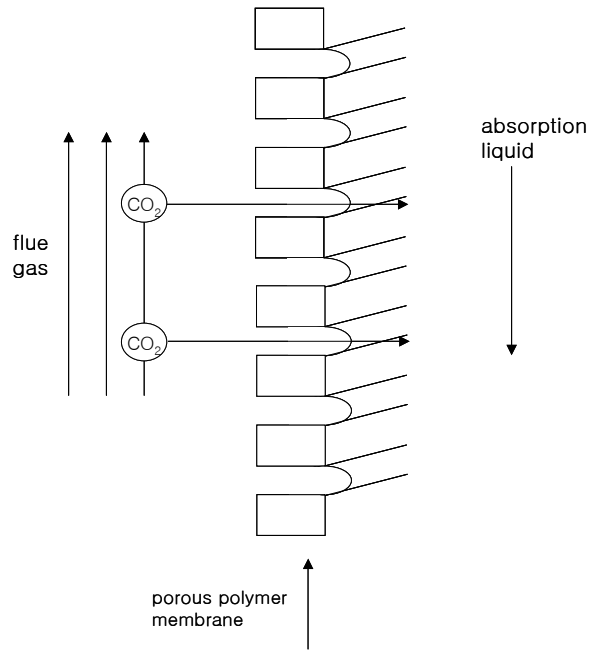


그림1. 막 흡수기의 원리

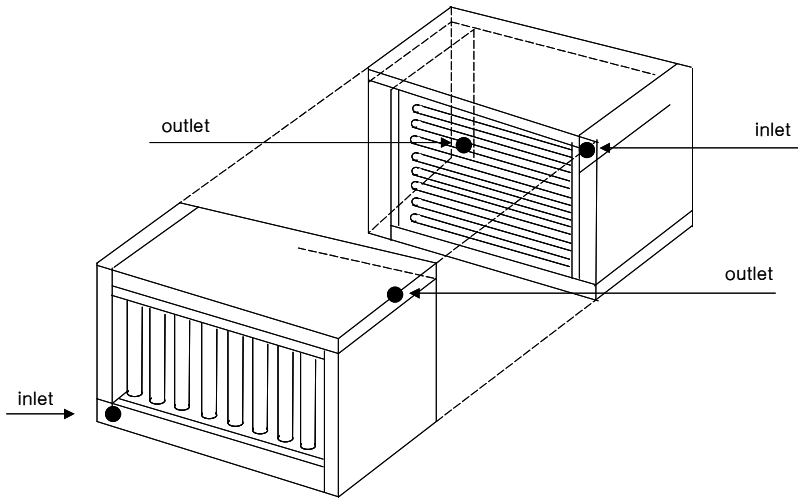


그림2. TNO 교차흐름 막 흡수기