

Ralu-Pack 250YC를 충전한 충전탑에서 암모니아가스 제거에 관한 연구

김 석 택
동아대학교 환경공학과
(2000년 8월 28일 접수)

A study on Removal of NH_3 Gas in a Tower using a Ralu-Pack 250YC as a Packing Material

Seuk-Taek Kim
Dept. of Environmental Eng., Dong-A University
(Manuscript received 28 August, 2000)

In this study a packed tower was selected for the treatment apparatus of NH_3 gas produced in industry. Formerly, latticework packing has been used in preventive facility of treatment of NH_3 gas. However, recently metallic Ralu-Pack 250YC, structured packing, is usually being used in petrochemical production plant. This study is for the application the packing to the NH_3 gas treatment in wet scrubbing process. In Air/water system, hydraulic pressure drop dependent of specific liquid load and gas capacity factor was continuous and parallel from graph. The tower height can be determined by the number of transfer unit and the height of transfer unit influenced on liquid distribution.

Key words : Gas capacity factor, Liquid load, Number of transfer unit(NTU), Height of transfer unit(HTU), Pressure drop

1. 서 론

산업의 고도화에 따라 사업장에서는 다양한 물질을 취급하게 되었으며 이로 인해 발생하는 유해가스도 상대적으로 많이 발생되고 있으며 사회적으로 많은 문제가 되고 있다. 이와 같은 유해가스를 처리하기 위한 방법은 여러 가지가 있으며, 주로 축열식 연소법(RTO)과 축열식 촉매연소법(RCO), 활성탄 흡착방법 등과 그리고 충전탑을 이용하는 방법이 있다. 본 연구에서는 화학공업의 열·물질분리 공정에 많이 사용되고 있는 충전탑을 이용하여 유해가스를 처리하는 방법으로서 내부 충전물로서는 일정하게 배열되어있는 규칙적인 충전물(Structured packing)인 금속 Ralu-Pack 250YC를 사용하여 실험하였다. Ralu-Pack 250YC 충전물은 주로 석유화학 장치산업에서 액체와 액체 분리차원의 생산공정에 사용되어 왔으며, 이것을 가스 상 대기오염 물질인 흡수처리 장치인 충전탑에 충전하여 대기오염 물질인 유해가스를 처리하는 실험을 하였다. 본 연구에 적용한 오염 물질로서는 암모니아가스를 선정하였다. 즉 본 연구의 목적은 가스 상 대기오염 물질을 처리하기 위해 사용하는 흡수장치에 규칙적인 충전물인 Ralu-Pack 250YC를 충전탑에 충전하여 장치의 운전조건에 따른 암모니아가스와 용제로 사용한 물의 흡수특성을 고려하여 오

염물질인 암모니아가스의 제거효율을 측정하는데 있다.^{1,2)} 또한 가스 흡수장치에서 충전층 압력손실의 변화를 고찰하기 위하여 공기, 공기/물 시스템을 적용하였으며, 암모니아-공기/물 시스템을 적용하여 암모니아가스 부하속도에 따른 액체(물)부하량을 측정하였고, 가스흡수 효율과 물질전달 단위 수, 물질전달 단위높이의 변화를 측정하여 분석하였다. 즉 액체의 부하량을 일정하게 설정하고 가스부하 속도를 증가시키면서, 그때의 충전층 내의 압력손실과 가스제거효율, 물질전달 단위 수 및 물질전달 단위높이를 측정 분석하였다. 또한 암모니아가스 부하량을 일정하게 설정하고 액체 부하량의 증가에 따른 가스제거 효율과 물질전달 단위 수 및 물질전달 단위높이에 대해서도 연구하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1. 실험장치

본 연구에 사용된 실험장치는 Fig. 1에 나타 내었다. 그림에서 충전탑(K)은 직경 300mm에 높이 1,400mm로 되어있으며, 외부공기를 흡입하는 송풍기(G), 액체를 충전탑 상부에서 분무하기 위한 급수펌프(P1)와 충전탑 하부에 모인 액체를 재 순환시키는 펌프(P2)와 급수, 배수용 저장탱크(B1,2)가 있다. 충전탑 하부와 상부의 압

력을 측정하기 위한 U-마노메타(ΔP_2)와 경사 마노메타(S), 액체의 고른 분사를 위한 직경 260mm 관 분배기(D) 그리고 배관의 유량을 조절하기 위한 유량조절기, 가스의 농도분석을 위한 자동비분산 적외선 가스분석기(A)와 가스공급을 위한 암모니아가스 시료용기, pH측정기 등으로 구성되어 있다. 그리고 충전탑내에 충전한 Ralu-Pack 250YC 충전물은 기하학적인 구조로서 충전층 전체공간을 가득 채우며, 금속 직물로 된 그물 모양으로서 지름 0.40mm 금속선으로 절연되는 특수강으로 짜여서 만들어졌다. 충전물 1개의 직경은 288mm(충전탑 내경은 300mm임)이고 높이는 210mm로 충전탑내에 6개를 충전하여 실험하였다.^{3),4)}

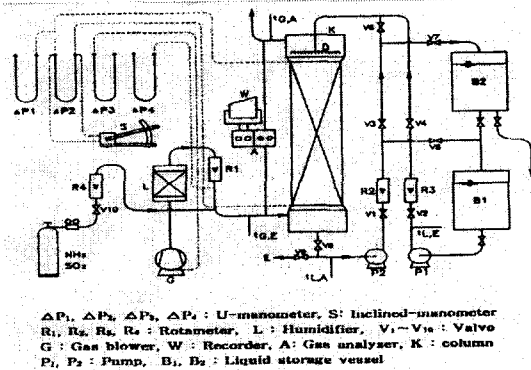


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

2.2. 실험방법

충전탑 내에서 충전층으로 공기시스템을 적용하여 액체의 분사 없이 공기만을 통과시켰으며 공기의 부하속도를 증가시키면서 그때의 충전층 상, 하부에 걸리는 건조압력손실을 측정한다. 다음은 공기/물 시스템으로 액체(물)부하량을 20, 30, 40($m^3/m^2 \cdot hr$)로 설정하여 공기부하 속도를 증가시키면서 그때의 충전층에 걸리는 수력학적 압력손실을 측정한다. 또한 암모니아-공기/물 시스템으로 액체(물)부하량을 10($m^3/m^2 \cdot hr$)로 일정하게 분사하고 암모니아가스 부하속도의 증가에 따른 충전층의 수력학적 압력손실을 측정하여 공기/물 시스템과 비교하였다. 그리고 암모니아-공기/물 시스템을 적용하여 가스부하 속도와 액체 부하량 등의 운전조건을 변화시키면서 충전탑 내에서의 암모니아가스 흡수효율과 물질전달 단위높이, 물질전달 단위수의 변화를 고찰하였다. 즉 충전탑에 Ralu-Pack 250YC를 충전하고 충전탑 하부에 공기만을 통과시켜 충전탑 상, 하부에 걸리는 압력차에 의해 건조압력손실을 측정하였다. 다음은 공기에 암모니아가스를 혼합시키면서 충전탑 상부에 용제인 물을 분사시켜 공기중에 혼합된 암모니아가스가 물에 흡수되는 효율을 측정하고 이때 상, 하부의 압력차로 수력학적 압력손실을 측정하였다.⁵⁾ 또한 가스를 통과시키고 물을 분무시키는 조건이 동일하더라도 충전물의 종류에 따라서 그 효율의 차이가 나기 때문에 대기오염 방지시설 선정시 경제성을 고려한 설계가 중요하기 때문에 기존

의 격자형 충전물대신 규칙적인 충전물인 금속Ralu-Pack 250YC를 충전하여 조건변화에 따른 처리효율과 운전차원에서 비교하기 위해 실험을 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 가스부하 속도변화에 따른 결과

3.1.1. 압력손실

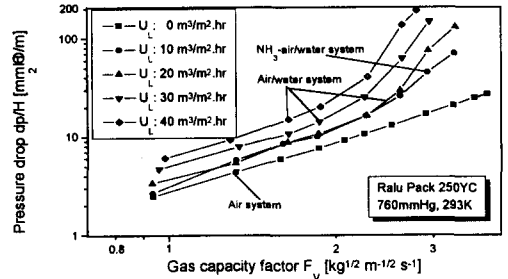


Fig. 2. Comparison of pressure drop by various gas capacity factor.

Fig. 2의 결과를 분석하면 공기 시스템으로 충전층내로 공기부하속도만을 증가시키면서 측정한 충전층내의 건조압력손실 그래프는 직선으로 압력이 상승하는 것을 알 수 있다.⁶⁾ 이것은 액체의 분사가 없으므로 충전물의 특성만으로 압력손실이 나타나기 때문으로 판단된다. 또한 공기/물 시스템에서 액체(물)의 부하량을 20, 30, 40($m^3/m^2 \cdot hr$)으로 설정하여 분석하고 다음은 암모니아 가스를 공기와 혼합(약 10,000ppm)하여 통과시키면서 액체 부하량을 10($m^3/m^2 \cdot hr$)으로 설정하여 가스부하속도를 증가시켰을 때, 액체 부하량의 증가가 충전층 내에서 발생시킬 수 있는 수력학적 압력손실을 측정된 결과 공기 시스템에서는 설정된 액체 부하량이 없이 공기만으로 부하속도가 증가할수록 충전층내의 건조압력손실은 직선으로 일정하게 서서히 증가했으며, 공기/물 시스템에서 설정된 액체 부하량 20, 30, 40($m^3/m^2 \cdot hr$)에 따라서 공기부하속도가 증가할수록 충전층내의 수력학적 압력손실은 거의 일정하게 증가하다가 가스부하가 $2.5 kg^{1/2} m^{-1/2} s^{-1}$ 지점에서는 급격하게 증가하는 것을 알 수 있었다. 이러한 원인은 충전탑 운전에 있어서 기체와 액체의 부하가 원인이 되고 또한 이 점은 충전탑의 운전과 효율에 직결되므로 충전물 선택시 고려사항인 것을 알 수 있었다. 그리고 암모니아가스를 공기와 혼합하여 액체(물)와의 시스템에서는 공기/물 시스템에서와 유사하게 그래프에 나타났다. 즉 Fig. 2에서 액체부하가 증가함으로써 압력손실선 dp/H가 증가됨을 알 수 있었으며, 또한 압력 손실 선이 연속적이며 거의 평행하게 나타났다.

3.1.2. 전달단위 수

전달단위 수는 암모니아가스 흡수효율과 관계가 깊으며 전달단위수의 상승은 흡수효율의 증가를 나타내고 감소는 흡수효율의 감소를 나타낸다. 즉 동일한 조건에

서 전달단위수가 높은 충전물이 좋은 것으로 평가되고 있다. Fig. 3의 결과를 분석하여 보면 암모니아가스 부하속도가 1.1059~3.2525 ($kg^{1/2}m^{-1/2}s^{-1}$)범위로 증가할수록 암모니아가스 흡수효율은 98.710~95.921(%)로 점점 감소하였으며, 그에 따라 전달단위수도 4.9331~4.5605 범위에서 점점 감소하였다. 이러한 이유는 동일한 조건에서 암모니아가스의 속도를 증가시키면 처리효율이 떨어지기 때문으로 판단된다.^{7),8)}

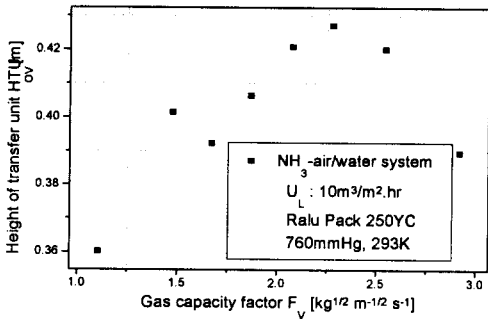


Fig. 3. Variation of number of transfer by various gas capacity factor.

3.1.3. 전달단위높이

가스흡수공정에서 전달단위높이는 흡수효율이 증가할수록 낮아지고 가스흡수효율이 낮아질수록 높아진다. Fig. 4의 결과를 분석하면 가스부하속도가 증가할수록 전달단위높이가 증가함을 볼 수 있고, 이 결과는 전달단위수의 그래프와는 대조적인 형태를 나타내었다. 즉 동일한 조건에서 암모니아가스의 속도를 증가시키면 전달단위 높이는 높아지는 것을 알 수 있었다.

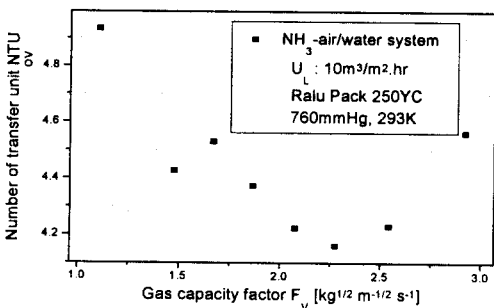


Fig. 4. Variation of height of transfer unit by various gas capacity factor.

3.2. 액체 부하량의 변화에 따른 결과

3.2.1. 전달단위 수

Fig. 5의 결과를 분석하여 보면 가스부하속도를 1.475 ($kg^{1/2}m^{-1/2}s^{-1}$)로 일정하게 유지하여 유입시키고 액체 부하량을 1.615~12.917 ($m^3/m^2 \cdot hr$)의 범위로 변화시키면서 실험하여 측정된 흡수효율은 52.462~99.745(%)로 나타

났으며, 전달단위수의 변화는 1.7139~7.2768의 범위로 증가하였다. 즉 이렇게 증가한것은 가스 부하인수를 일정하게하고 액체부하에 따른 전달단위수를 나타내며, 또한 전달단위수가 증가하면 가스처리 효율이 증가됨을 알 수 있다.

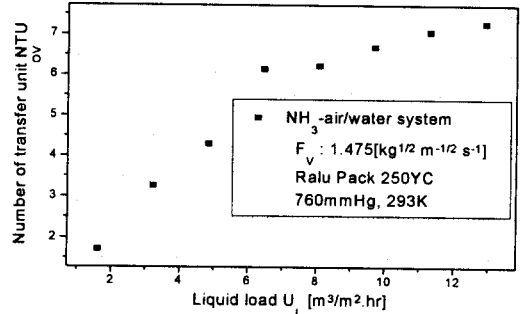


Fig. 5. Variation of number of transfer unit by various liquid load.

3.2.2. 전달단위높이

Fig. 6의 결과를 분석하여 보면 가스부하속도를 1.475 ($kg^{1/2}m^{-1/2}s^{-1}$)로 일정하게 유지하여 유입시키고, 액체 부하량을 1.615~12.917 ($m^3/m^2 \cdot hr$)의 범위로 변화시키면서 실험하여 측정된 흡수효율은 52.462~99.745(%)로 나타났으며, 전달단위 높이의 변화는 1.0327~0.2432 (m)의 범위로 점점 감소하였다. 전달단위 높이는 액체분배에 영향을 받고있는 것으로 나타났다. 즉 가스 부하속도를 일정하게하고 액체부하 증가에 따른 전달단위 높이는 낮아지는 것으로 나타났으며, 전달단위 높이가 낮다는 것은 효율이 좋다는 것으로 된다.

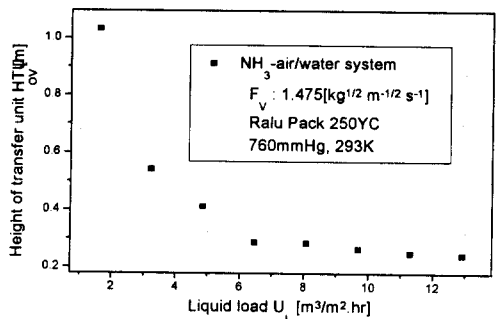


Fig. 6. Variation of height of transfer unit by various liquid load.

4. 결론

본 연구에서는 산업현장에서 발생되고 있는 대기오염 물질 처리 장치로 충전탑을 선택하였으며, 내부 충전물은 주로 많이 사용하고있는 격자형 충전물 대신 규칙적인 충전물Ralu-Pack 250YC를 사용했으며, 본 충전물은 석유화학 공장의 액체/액체 분리차원의 주 생산공정에 많이 사용하고 있는 것을 기체/액체 분리차원의 대기오

염 방지시설에 적용시 흡수효율 측면에서 가능 할 것인 지에 대해서 연구하게 되었다. 또한 규칙적인 충전물인 금속 Ralu-Pack 250YC는 기하학적인 구조로서 충전층 전체를 가득 채우며, 그 처리 효율은 Pall-ring, Hiflow-ring 등과 유사하게 나타났다. Ralu-Pack 250YC를 충전한 충전탑에서 가스부하속도의 변화와 액체 부하량의 변화에 따른 암모니아가스의 흡수효율과 전달단위 수 그리고 전달단위 높이의 변화를 실험 분석한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 가스부하속도의 변화에 따른 건조 압력손실은 액체저항이 없으므로 직선적으로 증가하였다. 공기/물 시스템에서 액체 부하량을 20, 30, 40($m^3/m^2 \cdot hr$)로 각각 설정하고 가스부하속도의 증가에 따른 수력학적 압력손실은 설정된 액체 부하량에 따라서 그 차이가 발생하였다. 또한 동일하게 설정된 액체 부하량에서 각 시스템별로 측정된 수력학적 압력손실의 차이는 거의 없었다.

2. 액체 부하량을 일정하게 설정하고 가스부하속도의 증가에 따른 가스흡수효율을 측정한 결과 가스흡수효율은 점점 감소하였고, 전달단위수도 또한 감소하였으며 전달단위높이는 증가하였다. 또한 가스부하속도를 일정하게 유지하고 액체 부하량의 증가에 따른 가스흡수효율을 측정한 결과 흡수효율은 점점 상승하였으며 이때 전달단위수도 점점 증가하였고 전달단위 높이는 감소하였다.

이상과 같이 규칙적인 충전물인 금속 Ralu-Pack 250YC를 충전한 충전탑이 발생되는 암모니아 가스를 비롯한 대기오염물질 및 유해가스를 처리하기 위한 방지시설을 설계할 때 가스의 제거효율이 일반 격자형 충전물인

Pall-ring, Hiflow-ring 등과 비교하여 처리효율이 약 10%이상 우수하고 설비운전상 낮은 압력손실로 동력 에너지 및 운전비용 등을 절감할 수 있으므로 격자형 충전물등과 비교하여 경제적으로 적용이 가능할 것으로 연구결과 나타났다.

참 고 문 헌

- 1) Billet, R. and J. H. Kim, "산업 충전탑 분석과 설계", 동화기술, (1996).
- 2) Mackowiak, J., "Pressure drop in irrigated packed columns", Chem. Eng. Process, pp 93~105, (1991).
- 3) Hobler, T., "Mass transfer and Absorbers", (1996).
- 4) Billet, R., "Packed Towers in Processing and Environmental Technology" VCH published Inc., (1995).
- 5) Billet, R., "Influence of initial Liquid Distribution on mass Transfer in Packed beds", Chinese J. of Chem. Eng., pp 98~112, (1994).
- 6) Schultes, M., "Absorption von Schwefeldioxid mit natranlauge in Fullkorkolonen, Verfahrenes-und Umwelttechnik," Ruhr-Universität Bochum, pp. 182-198, (1994).
- 7) Welty, J. R., C. E. Wicks and R. E. Wilson, "Fundamentals of momentum, Heat, and Mass Transfer", pp. 629-641 (1984).
- 8) Billet, R., 김장호, "고성능 흡수 충전탑", 동아대학교 환경문제연구소, 연구보고 제11권 1호.