

암모니아 흡수에 따른 25 mm NSW-ring, pp.의 특성연구

김 석 택

동아대학교 환경문제연구소

A Study on Characteristic of Modern Packing 25 mm NSW-ring, pp. by Absorption of NH₃ Gas

Seuk-Taek Kim

Environmental Problems Research Institute, Dong-A University

This study was carried out to demonstrate the superiority of used packing in view of energy saving and efficiency of mass transfer, comparing with conventional packing. The results are as follows: Owing to low pressure drop under high load, 25 mm NSW-ring, pp. can cause energy saving. The unique magnitudes of used packing are as follows: Used packing can make high efficiency including energy saving because of low pressure drop per the number of transfer unit. To rate the characteristic of packing, it should be carried out that the measurement of pressure drop per packing height and per the number of transfer unit. This study demonstrated the superiority of used packing by carrying out above experiment and could be used as basic reference for design and predicting efficiency of packing tower which is filled with same packing.

Key words: Mass transfer, Pressure drop, Gas capacity factor, HTU, NTU

1. 서 론

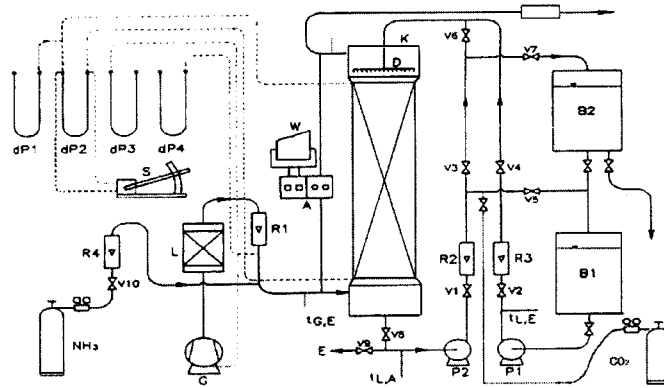
대기오염 방지시설을 위한 기술분야에 충전탑을 사용함으로써 적은 운전비용으로 고효율을 낼 수 있음을 인정받아 왔으며, 특히 정류와 증류, 흡수, 탈착 및 액체와 액체의 추출과 같은 물질교환 공정과 각종 산업 활동으로 유출되는 폐수 및 폐가스를 정화하기 위한 충전탑의 수요가 증가해 왔다. 따라서 충전탑에 대한 관심이 증대됨에 따라 고성능 충전탑에 사용할 충전물 개발이 활발히 진행되어 왔다. 그 이유는 근본적으로 이론단위수당 압력손실이 낮을수록 에너지절감과 고효율의 효과를 가져오기 때문에 경제적으로 많은 이익을 창출하기 때문이다. 따라서 충전탑의 효율은 충전물의 성능에 좌우된다고 할 수 있으며, 이에 지금도 유럽 선진국에서는 충전물의 연구가 계속진행되고 있다. 특히 충전탑내의 물질전달 특성을 고찰하기위해 인체에 유해한 폐가스중에서 암모니아 가스 흡수를 통한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 일반적으로 단위공정에 사용되는 충전물의 재질은 금속, 세라믹 그리고 플라스틱이며, 특히 플라스틱 재질의 격자형 충전물이 현대적 충전물

로써 개발된 것이다. 이들은 재래적 충전물과 비교해 압력손실이 적고 보다 효과적인 분리작용을 수행함으로써 수력학적 특성 및 물질전달에 많은 장점이 증명되어 왔다. 그러나 플라스틱 재질의 충전물은 열가소성과 내구성에 문제가 있으므로 제한되어 사용되므로서 단점이 있다. 본 연구는 개발되어 사용중인 격자형 충전물 25 mm NSW-ring, pp.를 임의로 충전한 기체와 액체의 역류 충전탑을 통하여 충전물의 수력학적 특성 및 암모니아 가스 흡수시 발생하는 물질전달 효율을 측정하여 기존의 재래식 충전물 25 mm Pall-ring, pp.과 비교함으로써 그 우수성을 평가하는데 목적이 있으며, 또한 가스 및 액체 부하와 물질전달계수의 관계를 통하여 25 mm NSW-ring, pp. 충전물 고유의 상수 및 지수를 밝힘으로써 충전탑의 설계 및 효율예측을 가능하게 하는데 있다.

2. 실 험

2.1. 실험장치

본 연구의 실험장치는 25 mm NSW-ring, pp.을 유



dP₁~dP₄ : U-manometer, S : Inclined-manometer, R₁~R₄ : Rotameter, L : Humidifier,
 G : Gas blower, W : Recorder, A : Gas analyzer, K : Column(Tower) V₁~V₁₀ : Valve,
 P₁, P₂ : Pump, B₁, B₂ : Liquid storage vessel, D : Distributor

Fig. 1. Schematic View of Absorption Investigation Plant.

입한 기체와 액체의 역류 충전탑으로써 Fig. 1에 나타나 있으며, 충전탑에 공기 유입을 균일하게 하기 위해 전처리 단계로써 충전탑을 추가로 하나더 설치하였고 액체분배기는 관분배기를 사용하였으며, 25 mm NSW-ring, pp.과 Pilot규모의 충전탑에 대한 세부사항은 Table 1에 요약하였다.

충전물의 수력학적 특성평가를 위해 건조압력손실과 수력학적 압력손실을 측정하였으며, 여러가지 범위의 부하에서 흡수효율을 평가하기 위해 수행된 방법을 다음 식으로 요약하였다.

$$u_L = \text{Const} : HTU_{OG} = f(F_G) \tag{1}$$

$$F_G = \text{Const} : HTU_{OG} = f(u_L) \tag{2}$$

$$u_L = \text{Const} : \frac{\Delta P}{H} = f(F_G) \tag{3}$$

실험에 적용된 흡수시스템은 Table 2에 나타내었으며, 본 연구에서는 흡수실험을 통하여 현대적 충전물의

Table 1. Specification of Experimental Apparatus

| Items | Specification |
|-------------------------------------|--|
| System | Air Aor/H ₂ O NH ₃ -Air/H ₂ O |
| ρ _G (kg/m ³) | 1.18-1.21 |
| ρ _L (kg/m ³) | 998.3-1004.7 |
| v _G (m ² /s) | (14.6-15.2) × 10 ⁻⁶ |
| D _G (m ² /s) | (1.75-2.38) × 10 ⁻⁵ |
| Temperature (°C) | 15-20 |

Table 2. System Used for the Investigation

| Items | Specification |
|----------------|---|
| Packing column | d _s =0.288 m |
| | H=1.4m |
| Packing | d=25 mm |
| | a=193.50m ² /m ³ |
| | N=47837 1/m ³ |
| Distributor | ε=0.9215 m ³ /m ³ |
| | B=600 1m ³ /m ³ |
| Humidifer | D=0.288m |
| | H=0.7m |

우수성을 평가하기 위한 것으로 화학적 반응을 수반하는 흡수시스템은 제외하였다.

2.2. 측정방법

공기 유입을위한 송풍기의 풍량조절은 송풍기 입구의 댐퍼로 하였고, 오리피스로 공기통과량을 측정하였으며 암모니아 가스량은 가스로타미터로 측정하고, 공기와 함께 충전탑의 하부로 유입시켰다. 충전탑 상부에서 분배되는 액체(물)로써 분배밀도 B=600 1/m²인 관분배기를 이용하여 고르게 분사시켰으며, 액체의 유입량은 액체로타미터로 측정하였다. 역류 충전탑을 통과한 가스는 습기제거장치(Demister)를 거쳐 대기로 방출하였다. 충전탑 하부에 가스를 흡수한 액체는 재사용하지 않았으며, 충전탑내에 연속적으로 유입되고 배출되는 암모니아의 농도는 암모니아 가스분석기를 이용하여 측정하였다. 충전탑 전체의 압력손실은 U-마노미터와 경사 마노미터를 사용하였고, 가스와 액체의 온도

Table 3. Experiment Results of Main Factors

| Items | Values |
|---|--------------------------------|
| Y_U (ppm) | 2100-10740 |
| Y_O (ppm) | 54-297 |
| F_G ($\text{kg}^{1/2} \text{m}^{-1/2} \text{s}^{-1}$) | 0.749-2.883 |
| u_L (m/s) | $(0.853-8.528) \times 10^{-3}$ |

는 충전탑의 입구 및 출구에서 각각 측정하였으며 주요인자의 측정결과치를 Table 3에 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 압력손실

25 mm NSW-ring, pp.의 충전단위높이당 건조압력손실과 물을분사했을때의 압력손실을 가스부하인수 F_G 의 함수로써 Fig. 2에 나타내었으며 가스부하인수 F_G 는 다음식으로 구하였다.

$$F_G = u_G \sqrt{\rho_G} \quad (4)$$

Fig. 2에서 나타난 바와 같이 물을분사 했을때의 가스부하인수에 대한 압력손실로 부하점까지는 거의 평행하게 나타나고, 범람점의 70%를 초과하면 급속하게 증가하게 된다. 과부하점에서는 액상용적이 크게 발생함으로써 충전탑내의 물질전달에 역효과를 가져왔으며, 격자형 충전물의 수력학적 특성의 우수성은 재래 충전물과 압력손실을 비교함으로써 증명할 수 있다. 따라서 Fig. 3에서는 기존의 재래 충전물 Pall-ring과 NSW-ring의 압력손실을 비교하여 나타내었다. 결과적으로 실험에 사용된 격자형 충전물 25 mm NSW-ring, pp.가

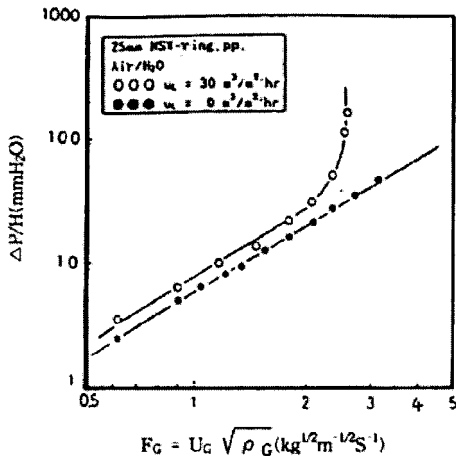


Fig. 2. Pressure drop per 1m of dry and wetted.

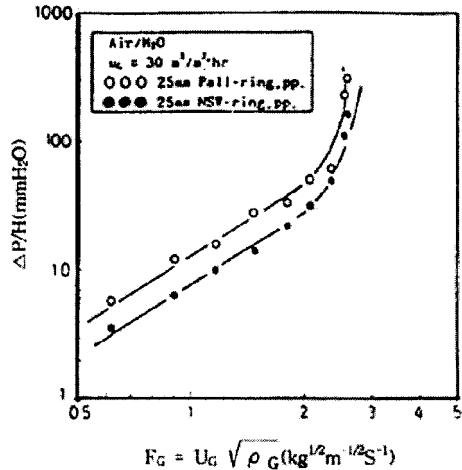


Fig. 3. Comparison between Pall-ring and packing height as a function of gas cap NSW-ring with specific pressure acity factor drop, basis: gas capacity factor.

재래 충전물 25 mm Pall-ring, pp.보다 고 부하에서 낮은 압력손실이 발생함을 알 수 있으며 이것은 탈착 또는 흡수 등의 공정에 격자형 충전물을 사용함으로써 에너지 비용을 절감할 수 있음을 증명하는 것이다.

3.2. 물질전달계수와 부하의 관계

NH_3 -Air/ H_2O 시스템에서 액체부하가 일정할 때 가스부하인수 F_G 변화에 따른 전달단위 높이 HTU_{OG} 의 변화를 Fig. 4에 나타내었으며 전달단위높이 HTU_{OG} 값은 액체부하 u_L 이 일정한 경우 F_G 의 함수로써 NTU_{OG} 의 측정에 의해 얻어지며 가스부하가 증가함으로써 전달

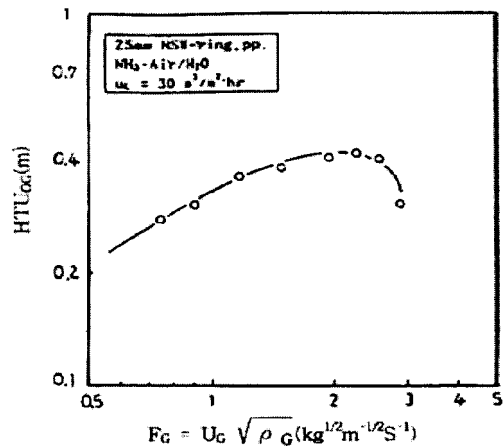


Fig. 4. Height of transfer unit as a function of gas capacity factor.

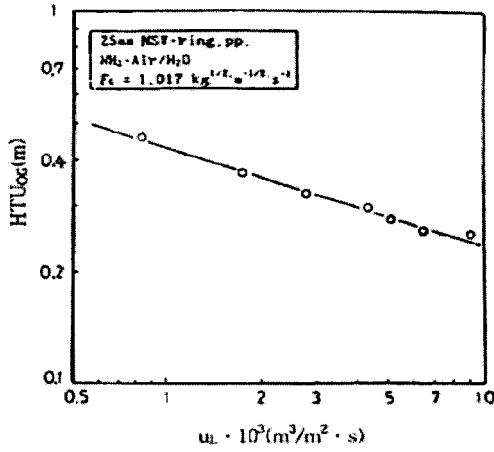


Fig. 5. Height of transfer unit as a function of liquid load.

단위높이 HTU_{OG}의 값이 커지므로 효율은 감소하게 된다. 그리고 가스부하가 일정한 상태에서 액체부하 U_L의 변화에 따른 전달단위높이 HTU_{OG}의 변화를 Fig. 5에 나타내었으며 보는 바와 같이 액체부하가 클수록 전달단위높이 HTU_{OG}의 값은 적어진다. 즉, 이것은 효율이 증가함을 말한다.

3.3. 물질전달계수와 부하의 관계

물질전달단위높이 HTU_{OG}와 가스부하인수 F_G를 알면 식 (5)를 이용하여 물질전달계수 β_{Ga}를 구할 수 있으며 이렇게 구해진 물질전달계수 β_{Ga}를 가스부하인수 F_G의 함수로서 Fig. 6에 나타내었다. 또한 Fig. 7에서의 액체부하 u_L에 따른 물질전달계수 β_{Ga}의 변화를 나타내었으며, 범람점 70%이내의 범위에서 β_{Ga}는 하나의 계수로써 다음식으로 구할 수 있다.

$$\beta_G \cdot a = C_G \cdot F_G^m \cdot u_L^n \cdot D_G^{0.67} \quad (5)$$

여기서 계수 C_G, 지수 m, n, 그리고 확산계수 D_G은 각각 실험에 의해 구해지는 값으로써, 충전물의 재질과 종류 그리고 시험되는 시스템에 따라 그 값이 다르다. 또한 Fig. 6과 Fig. 7로부터 25 mm NSW-ring, pp. 충전물의 고유 상수 및 지수 C_G, m, n을 얻을 수 있었으며 본 실험을 통하여 얻어진 값들은 각각 다음과 같다.

$$C_G = 5.78 \quad m = 0.67 \quad n = 0.46$$

3.4. 전달단위수당 압력손실과 부하의 관계

전달단위수당 압력손실은 식에 의해서 구하여지며, 가스부하인수 F_G의 함수로써 전달단위수당 압력손실

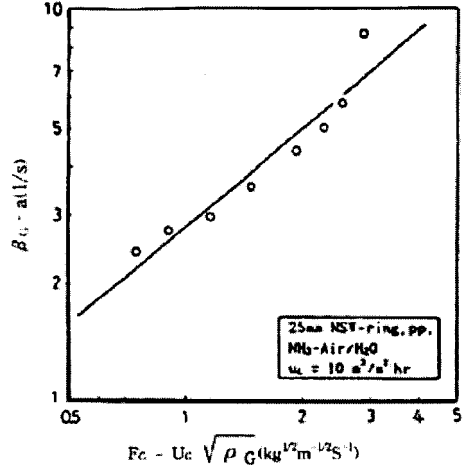


Fig. 6. Coefficient of mass transfer as a function of gas capacity factor.

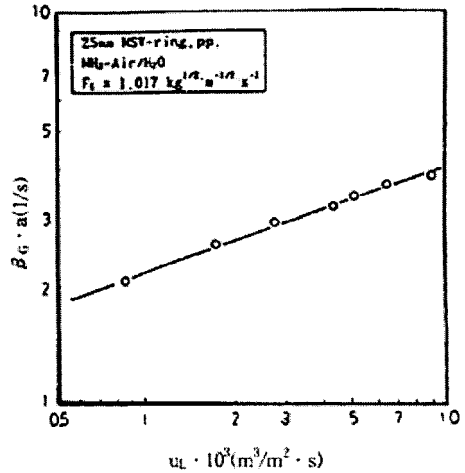


Fig. 7. Coefficient of mass transfer as a function of liquid load.

ΔP/NTU_{OG}를 Fig. 8에 나타내었다. 또한 가스의 확산은 가스의 밀도에 의존하므로 슈미트수 Sc_G에 의한 보정이 필요하며, 물리적 흡수에서 물질전달저항이 가스 상에 있을 경우 전달단위수당 압력손실은 다음과 같은 관계가 있다.

$$\frac{\Delta P}{NTU_{OG}} Sc_G^{-2/3} = f(F_G) \quad (6)$$

슈미트 수 Sc_G는 무차원 수로써 다음과 같다.

$$Sc_G = \frac{v_G}{D_G} \quad (7)$$

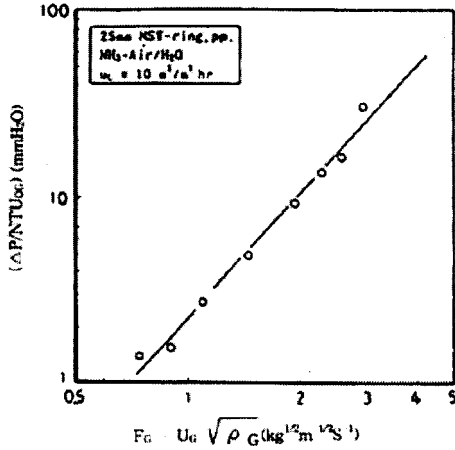


Fig. 8. Pressure drop per the number of transfer unit as a function of gas capacity factor.

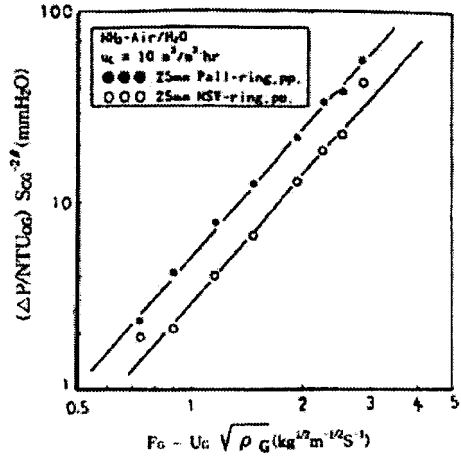


Fig. 10. Comparison between Pall-ring and NSW-ring with pressure drop per the number of mass transfer unit, basis: gas capacity factor.

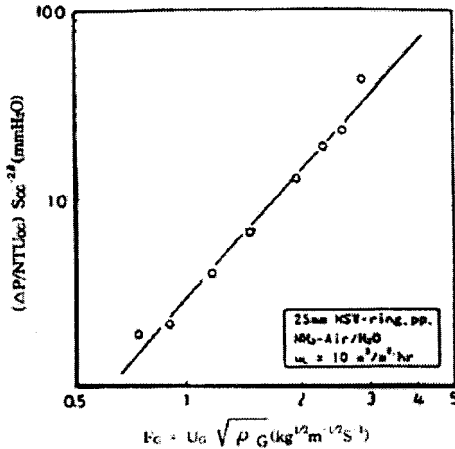


Fig. 9. Modified pressure drop per the number of transfer unit as a function of gas capacity factor.

쉬미트수 S_{CG} 에 의해 보정된 전달단위수당 압력손실을 Fig. 9에 나타내었다.

충전물 25 mm NSW-ring, pp.의 우수성을 평가하기 위해 재래 충전물 25 mm Pall-ring, pp.와 가스부하인수 F_G 의 변화에 따른 전달단위수당 압력손실 $\Delta P/NTU_{OG}$ 를 비교함으로써 증명하였으며 Fig. 10에서 이를 보여준다.

4. 결 론

대기오염물질, 특히 유해가스 및 악취물질을 처리하는데 여러 가지 방법이 있겠으나, 충전물 25 mm NSW-ring, pp.을 충전한 기체와 액체의 역류충전탑에서 암모니아 가스 흡수실험을 통하여 사용한 충전물의 수

력학적 특성 및 물질전달 특성을 연구한 결과 다음같은 결론을 얻었다. 현대충전물 25 mm NSW-ring, pp.는 기존의 재래 충전물보다 고 부하에서 낮은 압력손실이 발생함으로써 충전탑 운전에 필요한 동력을 절감할 수 있다.

물질전달계수와 부하의 관계로부터 현대적 충전물 25 mm NSW-ring, pp. 고유의 상수 $C_G=5.78$, 지수 $m=0.67$, $n=0.46$ 로 밝혀졌으며, 이 결과로부터 25 mm NSW-ring, pp.를 사용하는 충전탑의 설계 및 물질전달시 발생하는 효율을 예측할 수 있다. 전달단위수당 압력손실은 현대적 충전물 25 mm NSW-ring, pp.가 재래 충전물 25 mm Pall-ring, pp.보다 낮게 발생함으로써 에너지 절감과 더불어 효과적인 분리작용을 수행할 수 있다.

충전물의 특성을 평가하기 위해서는 충전높이당 압력손실 및 전달단위수당 압력손실에 의한 수력학적 평가와 물질전달 효율측정이 수행되어야 한다. 본 연구에서 이상의 실험을 수행한 결과 사용된 충전물의 우수성을 증명하였고, 이러한 결과에 근거하여 대형 발전시설 및 석유화학 공업단지등에서 암모니아가스를 많이 취급하는 산업공정에서 발생하는 폐가스의 흡수장치의 설계와 방지시설 운전에도 효율적으로 이용될 수 있을 것이다.

참고문헌

- 1) R. Billet, The Relationship between mass transfer and

- pressure in counter-current packing tower.
- 2) J. Mackowiak, Einsatz von Kunststoff-Fullkorporen bei der Ammoniakreduzierung aus Abwassern und Abluft, Wasser-Abwasser technik.
 - 3) R. Billet, J. Mackowiak, Hiflow-ring ein Hochleistungsfullkorper fur Gas/Flussing-Systeme, Herrn Professor Z.Ziolkowski zum 80.Geburt.
 - 4) R. Billet, Energieeinsparung bei Thermischen Stofftrennverfahren Dr. Alfred Huthig, Heidelberg, 1983.
 - 5) 김장호, 격자형 충전물을 이용한 충전탑내의 액체와 가스상의 역류에 의한 물질전달, 동아대학교 한림 정수봉 총장 회갑기념 논총 pp.1421-1434, 1988.
 - 6) 김장호, 하상안. 격자형 충전물을 이용한 충전탑내 기액상의 역류에 의한 물질전달과 수력학적 동특성, 한국해양공학회지 제2권 제2호 pp.130-138, 1988.
 - 7) R. Billet, Kim Jang-Ho, Ha sang-An, 역류가스 흡수에 의한 대기오염방지 기술, 동아대학교 환경문제연구소 연구보고 제12권 1호 pp.113-128, 1989.
 - 8) P. L. Spedding, P. A. Munro, and M. T. Jones, Ammonia Absorption into Water in a Packed Tower I: Chatacterization of Packing and Liquid Distribution, The Chemical Engineeking Journal, 32, pp.65-76, 1986.