

25mm NSW-ring, pp.를 충전한 충전탑에서 암모니아 흡수에 의한 유해가스 처리시 충전물의 특성연구

신은재·박진식·김장호·장성호*
동아대학교 환경공학과 · 국립밀양산업대학교 환경공학과
(1995년 12월 15일 접수)

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

Eun-Jae Shin, Jin-Sick Park, Jang-Ho Kim, and Seong-Ho Jang*
Dept. of Env. Eng., Dong-A Univ,
*Dept. of Env. Eng., National Miryang Univ.
(Manuscript received 15 December 1995)

The 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 :

1. Owing to low pressure drop under high load, 25mm NSW-ring, pp. can cause energy saving
2. The unique magnitudes of used packing are as follows :
 $C_o = 5.78$, $m = 0.67$, $n = 0.46$
3. Used packing can make high efficiency including energy saving because of low pressure drop per the number of transfer unit.

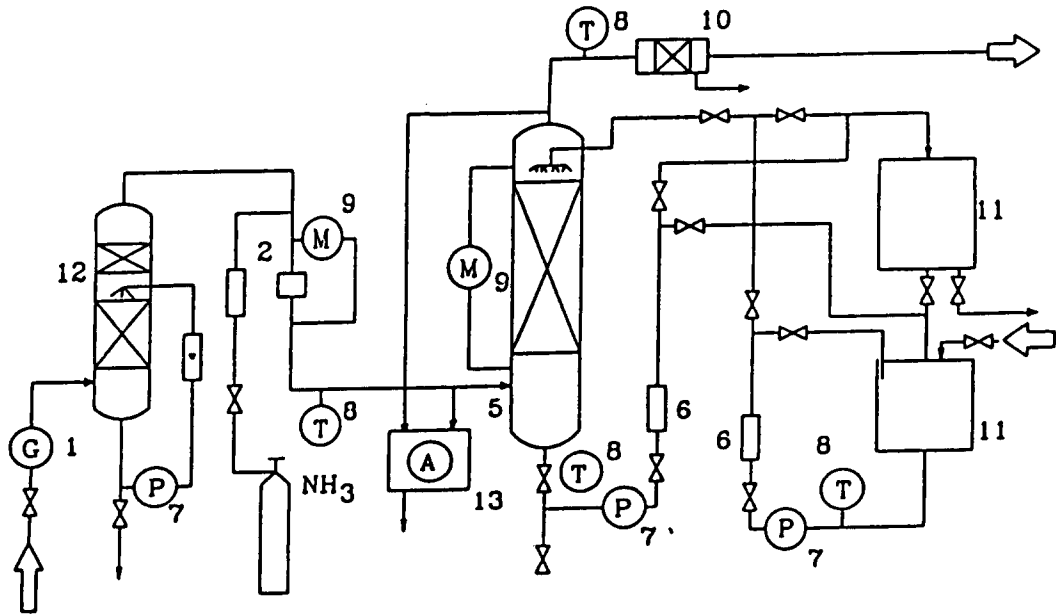
To rate the characteristic of packing, it should be carried out that the measurement of pressure drop per packing height and per the number of transfer unit. This study demonstrated the superiority of used packing by carrying out above experiment and could be used as basic reference for design and predicting efficiency of packing tower which is filled with same packing.

Key words : Packing, Absorption, NSW-ring, Mass Transfer, Pressure Drop

1. 서론

화학공업과 환경보호를 위한 기술분야에 충전탑을 사용함으로써 적은 운전비용으로 고효율을 얻을 수 있다. 특히 정류, 증류, 흡수, 탈착, 액-액 추출과 같은 물질교환공정과 각종 산업활동으로 유출되는 폐수 및 폐가스를 정화하기 위해 충전탑의 수요가 증가한다. 따라서

1970년대 말부터 충전탑에 대한 관심이 증대되어, 고성능 충전탑에 사용할 충전물 개발이 활발히 진행되어 왔다. 그 이유는 근본적으로 이론단위수당 압력손실이 낮을수록 에너지절감과 고효율의 효과를 가져오기 때문이다. 따라서 충전탑의 효율은 충전물의 성능에 좌우된다고 할 수 있으며, 이에 지금도 유럽에서는



1. Gas blower 2. Orifice 3. Liquid distributor 4. Packed tower 5. Gas distributor 6. Rotameter
7. Pump 8. Thermometer 9. U manometer 10. Demister 11. Reservoir 12. Humidifer 13. Analyzer

Fig. 1. Schematic View of Absorption Inverstigation Plant.

Table 1. Specification of Experimental Apparatus

Items	Specification
Packing column	$a_s = 0.288\text{m}$ $H = 1.4\text{m}$
Packing	$d = 25\text{am}$ $a = 193.50\text{m}^2/\text{m}^3$ $N = 47837 \text{ l}/\text{m}^3$ $\epsilon = 0.9215\text{m}^3/\text{m}^3$
Distributor	$B = 600 \text{ l}/\text{m}^2$
Humidifer	$D = 0.288\text{m}$ $H = 0.7\text{m}$

충진물 연구가 이어지고 있다. 고성능 충진물 연구의 일환으로 충진탑내의 유체역학적 거동을 수학적으로 해석하여 충진물의 성능을 평가(Billet, 1993)하였으며 김장호(1988, 1992)는 충진탑내의 물질전달과 연결시켜 폐가스처리에 적용하였다. 특히 충진탑내의 물질전달특

성을 고찰하기 위해 인체에 유해한 폐가스중에서 암모니아 가스 흡수를 통한 연구가 활발히 진행되고 있다(김장호, 1988; Billet *et al.*, 1988). 또한 P. L Spedding(1986)등은 충진탑에서 암모니아 흡수에 의한 물질전달 계수를 연구하였고, G. R. Lightsey(1986)등은 암모니아 가스 흡수에 의한 물질전달계수를 연구하였다. 일반적으로 단위공정에 사용되는 충진물의 재질은 금속, 세라믹, 그리고 플라스틱이며, 플라스틱 재질의 격자형 충진물이 현대적 충진물로서 최근에 개발된 것이다. 이들은 재래적 충진물과 비교해 압력손실이 적고 보다 효과적인 분리작용을 수행함으로써 수력학적 특성 및 물질전달에 많은 장점이 증명되었다(Billet, 1983). 그러나 플라스틱 재질의 충진물은 열가소성과 내구성에 문제가 있으므로 제한되어 사용된다.

본 연구는 최근에 개발된 격자형 충진물 25mm NSW-ring, pp.를 임의로 충진한 기-액 역류 충진탑을 통하여 충진물의 수력학적 특

Table 2. System Used for the Investigation

Items	Specification
System	Air
	Air/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
ν_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 3. Experiment Results of Main Factors

Items	Values
Y _L (ppm)	2100 - 10740
Y _O (ppm)	54 - 297
F _G (kg ^{1/2} m ^{1/2} s ⁻¹)	0.749 - 2.883
F _G (kg ^{1/2} m ^{1/2} s ⁻¹)	(0.853 - 8.528) × 10 ⁻³

성 및 암모니아 가스 흡수시 발생하는 물질전달 효율을 측정한다. 기존의 재래 충전물 25mm Pall-ring, pp.과 비교하여 그 우수성을 평가하는데 목적이 있고, 또한 가스 및 액체 부하와 물질전달계수의 관계를 통하여 25mm NSW-ring, pp. 충전물 고유의 상수 및 지수를 밝힘으로써 충전물의 설계 및 효율에 측을 가능하게 하는데 그 목적이 있다.

2. 실험

2.1 실험장치

본 연구의 실험장치는 25mm NSW-ring, pp.을 유입한 기-액 역류 충전탑으로써 Fig. 1에 나타나 있다. 충전물 유입 구에서의 공기 유입을 균일하게 하기 위해 전 처리 단계로 Pilot규모의 충전탑에 대한 세부사항은 Table 1에 요약하였다. 충전물의 수력학적 특성평가를 위해 건조압력손실과 수력학적 압력손실을 측정하였다. 그리고 다양한 범위의 부하에서 흡수효율을 평가하기 위해 수행된 방법들을 다음 식들로 요약하였다.

$$u_L = \text{Const} : \text{HTU}_{OG} = f(F_G) \quad (1)$$

$$F_G = \text{Const} : \text{HTU}_{OG} = f(u_L) \quad (2)$$

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

실험에 적용된 흡수 시스템은 Table 2에 나타

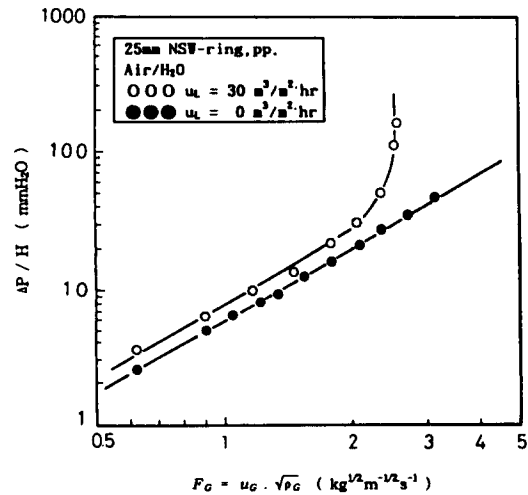


Fig. 2. Pressure between Palling and NSW-ring with specific pressure drop, basis : gas capacity factor.

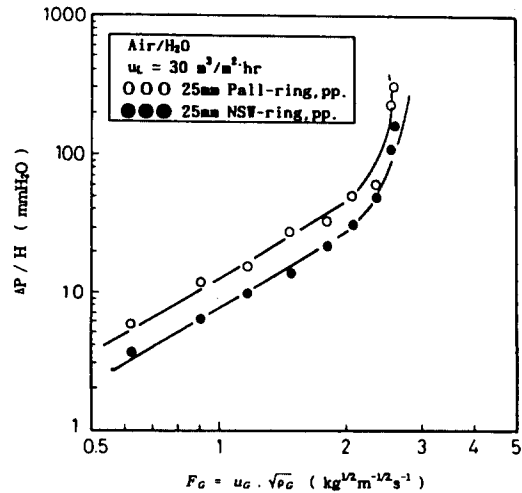


Fig. 3. Comparison between Palling and NSW-ring with specific pressure drop, basis : gas capacity factor.

내었다(Robert et al, 1984). 본 연구에서는 흡수실험을 통하여 현대적 충전물의 우수성을 평가하기 위한 것으로 화학적 반응을 수반하는 흡수시스템은 제외하였다.

2.2 측정방법

송풍기의 풍량조절은 송풍기 유입 구의 댐퍼로 하였고 오리피스로 공기통과량을 측정하였다. 암모니아 가스량은 가스로타미터로 측정

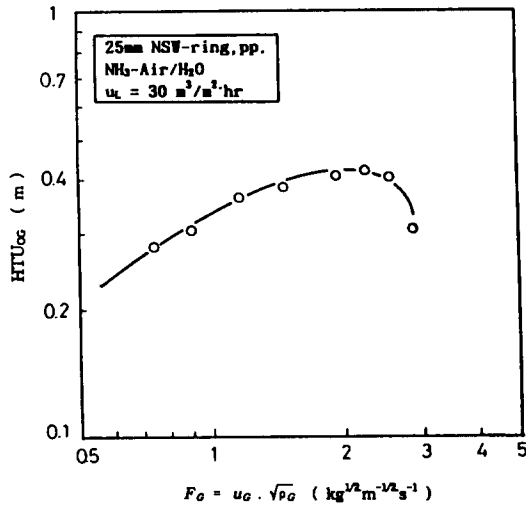


Fig. 4. Height of transfer unit as a function of gas capacity factor.

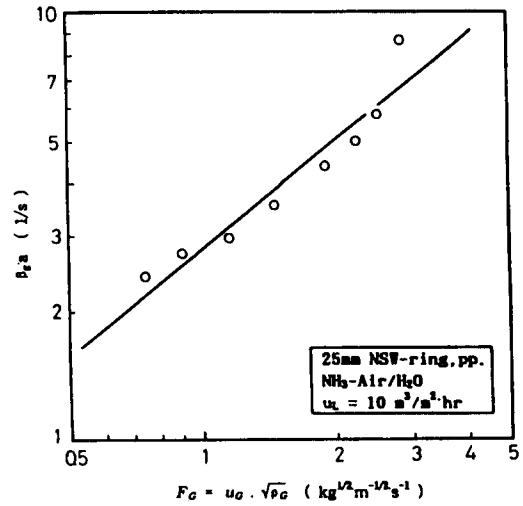


Fig. 6. Coefficient of mass transfer as a function of gas capacity factor.

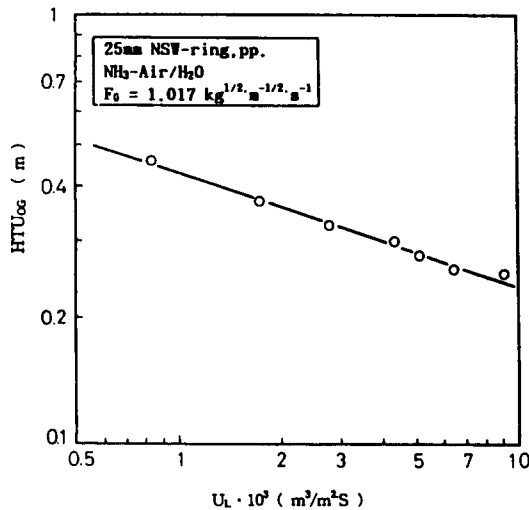


Fig. 5. Height of transfer unit as a function of liquid load.

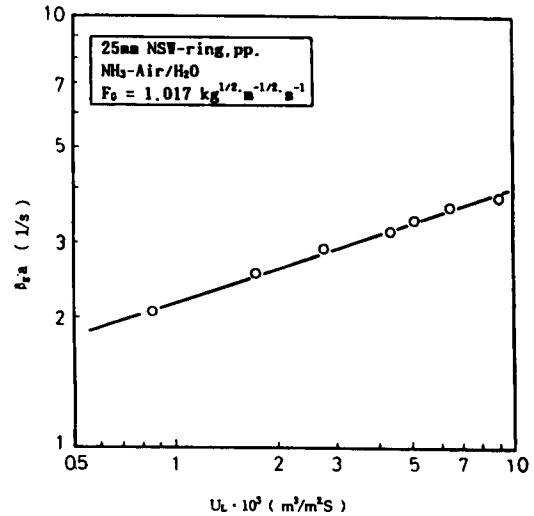


Fig. 7. Coefficient of mass transfer as a function of liquid load.

하였으며 공기와 함께 충전탑의 하부로 유입시켰다. 충전탑 상부에서 분배되는 액체는 순수한 물로써 분배밀도 $B=600 \text{ l/m}^2$ 인 관분배기를 이용하여 고르게 분사시켰다. 액체의 유입량은 액체로타미터로 측정하였다. 역류 충전탑을 통과한 가스는 Demister를 거쳐 대기로 방출하였다. 충전탑 하부의 가스를 흡수한 액체는 재사용하지 않았다. 충전탑내에 연속적으로 유입되고 배출되는 암모니아의 농도는 암

모니아 가스분석기를 이용하여 측정하였다. 충전탑 전체의 압력손실은 U마노미터와 경사 마노미터를 사용하였다. 가스와 액체의 온도는 충전탑의 유입 구 및 유출구에서 각각 측정하였다. 주요인자의 측정결과치를 Table 3에 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 압력손실

25mm NSW-ring, pp.의 충전단위높이당 전

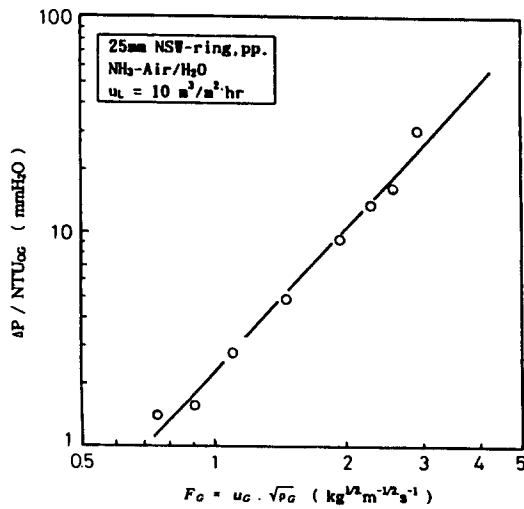


Fig. 8. Pressure drop per the number of transfer unit as a function of gas capacity factor.

조압력손실과 관수시의 압력손실을 가스부하인수 F_G 의 함수로써 Fig. 2에 나타내었다. 가스부하인수 F_G 는 다음식으로 구하였다(Billet, 1988).

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

Fig. 2에서 나타난 바와 같이 관수시의 가스부하인수에 대한 압력손실은 부하점까지는 거의 평행하게 나타나고 범람점의 70%를 초과하면 급속하게 증가하게 된다. 과부하점에서는 액상용적이 크게 발생함으로써 충전탑내의 물질전달에 역효과를 가져온다. 격자형 충전물의 수력학적 특성의 우수성은 재래 충전물과 압력손실을 비교함으로써 증명할 수 있다. 따라서 Fig. 3에 기존의 재래 충전물 Pall-ring과 NSW-ring, pp.가 재래 충전물 25mm Pall-ring, pp.보다 고부하에서 낮은 압력손실이 발생함을 알 수 있다. 이것은 탈착 또는 흡수 등의 공정에 격자형 충전물을 사용함으로써 에너지 소비를 절감할 수 있음을 증명하는 것이다.

3.2 물질전달계수와 부하의 관계

$\text{NH}_3\text{-Air}/\text{H}_2\text{O}$ 시스템에서 액체부하가 일정할 때 가스부하인수 F_G 변화에 따른 전달단위높이 HTU_{OG} 의 변화를 Fig. 4에 나타내었다.

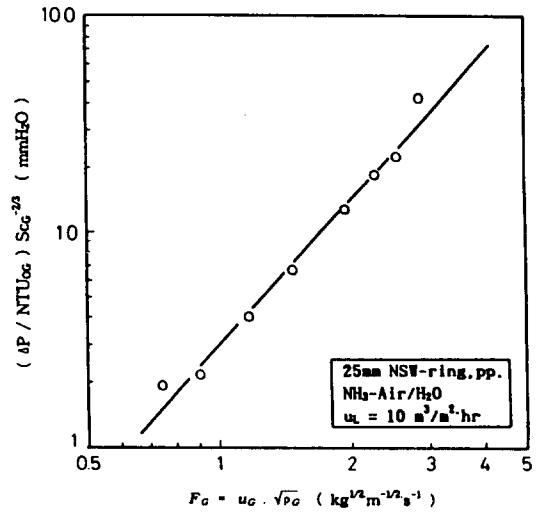


Fig. 9. Modified pressure drop per the number of transfer unit as a function of gas capacity factor.

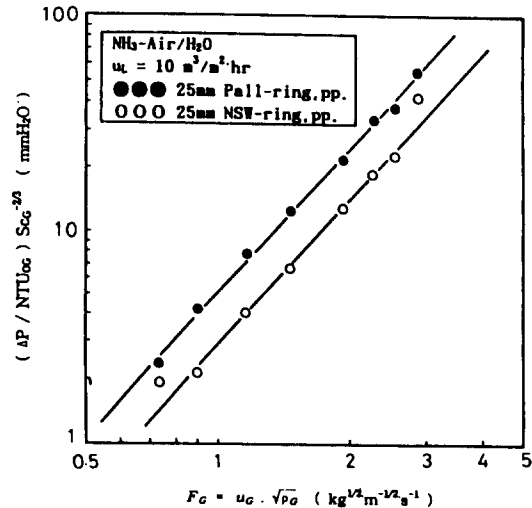


Fig. 10. Comparison between Pall-ring and NSW-ring with pressure drop per the number of mass transfer unit, basis : gas capacity factor.

전달단위높이 HTU_{OG} 값은 액체부하 u_L 이 일정할 경우 F_G 의 함수로써 NTU_{OG} 의 측정에 의해 얻어진다. 가스부하가 증가함으로써 전달단위높이 HTU_{OG} 의 값이 커지므로 효율은 감소하게 된다. 가스부하가 일정한 상태에서 액체부하 u_L 의 변화에 따른 전달단위높이 HTU_{OG} 의 변화

를 Fig. 5에 나타내었다.

Fig. 5에서 나타난 바와 같이 액체부하가 클수록 전달단위높이 HTU_{OG}의 값은 커진다. 즉, 이것은 효율이 증가함을 말한다.

3.3 물질전달계수와 부하의 관계

전달높이 HTU_{OG}와 가스부하인수 F_G를 알면 식(5)를 이용하여 물질전달계수 β_{0a}의 변수를 나타내었다. 범람점의 70%이내의 범위에서 β_{0a}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, wltm m, n, 그리고 확산계수 D_G은 각각 실험에 의해 구해지는 값으로써 충전물의 재질과 종류, 시험되는 시스템에 따라 그 값이 다르다(Billet, 1987, 1991).

Fig. 6와 Fig 7으로 부터 25mm NSW-ring, pp. 충전물의 고유상수 및 지수 C_G, m, n을 얻을 수 있다. 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

전달단위당 압력손실은 식(7)과 (8)로부터 구하여지며, 가스부하인수 F_G의 함수로써 전달 단위수당 압력손실 ΔP/NTU_{OG}를 Fig. 8에 나타내었다.

$$ds = 1 / \left(\frac{1}{B_G} + \frac{n}{B_L} \right) \cdot (Y - Y_E) dA \quad (6)$$

$$\frac{\Delta P}{NTU_{OG}} = \frac{\Delta P}{H} NTU_{OG} \quad (7)$$

또한 가스의 확산은 가스의 밀도에 의존하므로 슈미트수 S_{CG}에 의한 보정이 필요하다. 또한 물리적 흡수에서 물질전달저항이 가스상에 있을 경우 전달단위수당 압력손실은 다음과 같은 관계가 있다.

$$\frac{\Delta P}{NTU_{OG}} = S_{CG}^{-2/3} = f(F_G) \quad (8)$$

슈미트 수 S_{CG}는 무차원 수로써 다음과 같다.

$$S_{CG} = \frac{\nu_G}{D_G} \quad (9)$$

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

최종적으로 현대적 충전물 25mm NSW-ring, pp.의 우수성을 증가하기 위해 재래 충

진물 25mm Pall-ring, pp.과 가스부하인수 F_G의 변화에 따른 전달단위수당 압력손실 ΔP/NTU_{OG}를 비교함으로써 증명하였다. Fig. 10에서 이를 보여준다.

4. 결 론

현대적 충전물 25mm NSW-ring, pp.을 충전한 기·액 역류충진탑에서 암모니아 가스 흡수실험을 통하여 사용한 충전물의 수력학적 특성 및 물질전달 특성을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1)현대 충전물인 25mm NSW-ring, pp.는 기존의 재래충진물보다 고부하에서 낮은 압력손실이 발생함으로써 충전탑 운전에 필요한 동력을 절감 할 수 있다.

2)물질 전달계수와 부하의 관계로부터 현대적 충전물 25mm NSW-ring, pp. 고유의 상수 C_G=5.78, 지수 m=0.67, n=0.46으로 밝혀졌으며 이 결과부터 25mm Pall-ring, pp.를 사용하는 충전탑의 설계 및 물질전달시 발생하는 효율을 예측할 수 있다.

3)전달단위수당 압력손실은 현대적 충전물 25mm NSW-ring, pp.가 재래 충전물 25mm NSW-ring, pp.보다 낮게 발생함으로써 에너지 절감과 더불어 효과적인 분리작용을 수행할 수 있다

충진물의 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 발전시설, 화학공업단지 등의 산업공정에서 발생하는 폐가스 흡수장치의 설계에 기초자료로 이용될 수 있다.

참 고 문 헌

- 김장호, 1988, 격자형 충전물을 이용한 충전탑 내의 액체와 가스상의 역류에 의한 물질전달, 동아대학교 한림 정수봉 총장 회갑기념 논문 pp. 1421-1434.
- 김장호, 1992, 충전탑에서의 흡수와 수력학적 특성연구, 동아대학교 환경문제연구소 연구보고 제 15권 2호, pp. 25-40.
- 김장호, 하상안, 1998, 격자형 충전물을 이용한 충전탑내 기액상의 역류에 의한 물질전

25mm NSW-ring, pp.를 충전한 충전탑에서 암모니아 흡수에 의한 유해가스 처리시 충전물의 특성연구

- 달과 수력학적동특성, 한국해양공학회지 제 2권 제 2호, pp. 130-138.
- G.R.Lightsey, P.L.Spedding, M.T.Jones, 1986, Ammonia Absorption into Water in a Packed Tower II : Measurement of Mass Transfer Coefficients, The Chemical Engineering Journal, 32, pp. 151-163.
- P.L.Spedding, P.A.Munro, M.T.Jones, 1986, Ammonia Absorption into Water in a Packed Tower I : Characterization of Packing and Liquid Distribution, The Chemical Engineering Journal, 32, pp. 65-76.
- Reinhard Billet, 1987, Packed column analysis and design, Glitsch Inc. Dallas/Texas.
- R.Billet, 1993, Energieeinsparung bei Thermischen Stofftrennverfahren Dr. Alfred Hthig, Heidelberg.
- R.Billet, Kim Jang-Ho, Ha Sang-An, 1988, 역류가스 흡수에 의한 대기오염방지 기술, 동아대학교 환경문제연구소 연구보고 제2권 2호, 130-138.
- R.Billet, and Kim Jang-Ho, 1991, "충진탑 기술, 세종 출판사.
- R.Billet, 1993, Bewertung von Fllkrpern und die Grenzen ihrer Weiterentwicklung, Chem.-Ing.-Tech., Nr.2, pp. 175-166.
- R.Billet, 1988, Relationship between Residence Time, Fluid Dynamics and Efficiency in Countercurrent Flow Equipment, Chem. Eng. Technol, Nr. 11, pp. 139-148.
- R.Billet, 1990, The relationship between mass transfer and pressure drop in counter current packed column, Aus anlass der 25Jhrigen bestehens der RUHRUNIVERSITT BOCHUM.
- Robert H.Perry Don Green, Perry's Chemical Engineer's Handbook, 1984, 6th, Mcgraw Hill.