

대용량의 가스상물질 처리를 위한 벨브 트레이

김재홍 · 김장호
동아대학교 환경공학과

Valve Tray for Large Volume Gas Treatment

Jae Hong Kim · Jang Ho Kim

Dept. of Environmental Eng., College of Eng., Dong-A, University

Abstract

To review mass transfer trays from a process point of view, the dependence of efficiency in loading ranges and maximum loadings with an acceptable efficiency of traditional tray have to be known. It is reported about the performance of the metallic Dualflex, relatively new high performance packing. Absorption, desorption and rectification tests as well as pressure drop and maximum capacity are concerned, indicate the superiority of the Dualflex over the general packing of comparable, main process. The process engineering characteristics show that Dualflex can be applied for all mass transfer processes and it is to be recommended especially for those high capacity separations which require allow low pressure drop because of the thermal sensibility of the product or because of the need of energy saving.

I. 서 론

오염된 기/액시스템의 분리공정을 위한 장치로는 하향액체 이송관이 있는 직교류 트레이 같은 고정 칼럼이나 칼럼에 충전된 충전물이 주로 이용되고 있다¹⁾. 특히 액체 또는 가스상에 입자상물질을 함유한 알코올 제조분야에서의 슬러리의 증류, 펄퍼의 스트리핑 칼럼등의 공정에서는 운전 측면에서 분류장치의 적절한 선택 및 설계가 이루어 져야 한다(R. Billet, J. Mackowiak, 1992)²⁾. 또한 고용량의 가스상물질을 처리하기 위한 장치의 설계 및 운전 에 대해서 Billet(1989)³⁾은 하향 액체 이송로가 없

고 트레이 바닥의 천공 위에 위치한 상부웨어와 액체 및 가스가 통과하는 유동 벨브판을 가진 특별한 벨브 트레이를 적용하였다. 체계적인 실험 연구 결과에 따르면 이 물질 전달 장치는 대용량 트레이로 제품명은 Dualflex트레이라고 한다⁴⁾. 이는 대용량 처리 및 점성을 가진 새로운 분리장치를 설치하는데 알맞을 뿐 아니라 기존장치의 용량증가로의 증설이 요구되는데도 권장된다. 본 연구에서는 암모니아-공기/물 시스템을 적용하여 Dualflex 트레이의 분리 효율과 유체역학특성에 대하여 연구하였다. 하향액체이송로가 있는 Varioflex valves와 기존의 직교류 Sieve 트레이에 대한 실험장치에서의

데이터 또한 비교하기 위해 H. Ullrich와 Verteilung kleiner(1987)가 유도한 트레이 효율 E_T (식 (1))을 이용하였다⁵⁾.

$$\ln[1 + E_T \cdot (\lambda - 1)] = -\frac{1}{n_p} \cdot \ln \left[\frac{y_u - y_o^*}{y_o^* - y_o} \cdot (1 - \lambda) + \lambda \right] \quad (1)$$

n_p 는 이론적 단수이며, 기체의 유입과 액체의 흐름이 있는 트레이는 열역학적 평형을 이룬다는 가정 하에 식 (1)에서 작업선 및 평형선(McCabe-Thiele 도표)은 식 2, 3으로 표현되어진다⁶⁾.

$$y^* = m \cdot x \quad (2)$$

$$y = y_u \cdot \frac{L}{V} \cdot (x_u - x) \quad (3)$$

따라서 E_T 는 유입구와 유출구에서 측정되는 암모니아의 농도 y_u 와 y_o . 그리고 스트리핑 계수 λ (식 5)로부터 계산된다⁶⁾.

$$E_T = \frac{1}{\lambda - 1} \left[\frac{1}{\left[(1 - \lambda) \frac{y_u}{y_o} + \lambda \right]^{1/3} - 1} - 1 \right] \quad (4)$$

$$\lambda = \frac{m}{L/V} \quad (5)$$

본 연구는 대용량의 가스처리에 있어 적절한 효율을 가지면서 압력손실등을 최소화 할 수 있는 시스템을 적용하는데 그 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

1. 실험장치

Dualflex 트레이는 Fig. 1에 보여지며 독립된 하향 액체 이송로 트레이와 비교된다. 밸브는 개방된 slit, 상이 통과하는 지지대, 커베에 의해서 상부가 막힌 Varioflex tray와 유사한 원통 모양의 상부 및 중앙부의 유동밸브판으로 구성되어 있다. 이런 구조는 증기나 개스가 액체와 혼합되지 않고 흘러

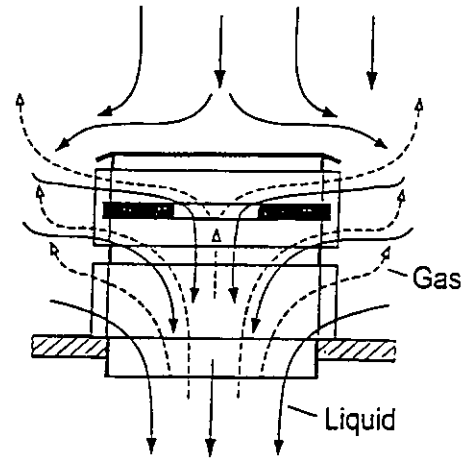


Fig. 1. Valve unit of a Dualflex tray with schematic representation of the flow lines for gas and liquid.

내릴 가능성이 실제로는 거의 없으므로, 기존의 Dualflow tray와 비교하면 상끼리 더 효과적인 접촉이 일어나므로 고효율을 기대할 수 있음으로 증명되었다.⁷⁾ 본 연구에 적용한 깔름은 기존의 Dualflow tray와 Dualflex tray의 성능을 비교하기 위하여 직경 500mm이며 3개의 트레이가 500mm의 간격으로 설치되었다. 실험장치는 정상상태하에서 유체역학시험을 위해 기/액 시스템, 흡수 시스템에서의 물질전달시험을 위해 암모니아-기/액 시스템을 적용하였다.

2. 시험방법

Tray의 수력학적 조사를 위한 측정으로는 가스 부하 및 액체부하에 따르는 압력손실은 U-manometer를 이용하였으며, 물질전달에 영향을 끼치는 중요한 인자인 액체함량은 장치의 정상상태로 운전 후 약 10분이 경과한 뒤 동적 액체함량을 측정하였다. 기상의 암모니아의 농도는 적외선가스분석기를 이용하였으며 액상에서의 암모니아 농도는 pH를 측정한 후 적정법에 의해 농도를 분석하였다. 가스부하는 댐퍼를 이용하여 조절하였으며 가스량은 오리피스를 이용하였으며, 액체부하는 액체 유량계를 밸브로 조절하였다.

III. 결과 및 고찰

암모니아-기/액 시스템에서 Dualflex tray의 운전결과를 Fig. 2에 나타내었으며, 특히 가스부하가 낮은 경우 높은 효율을 나타냄으로 나타났다. 기액비 L/V 및 가스부하인수의 함수로서 Dualflex 트레이의 분리효율 E_T 에 대해 낮은 기액비에서는 R. Billet^{7,8)}의 연구결과와 유사한 결과로서 높은 가스부하에서 효율이 높은 것으로 나타난다. 또한 기액비를 증가하면 낮은 가스부하에서 효율이 좋게 나타났으며 이는 액체함량의 증가에 따른 공극율의 감소로 인한 것으로 판단된다. 그러나 상대적으로 기액비를 증가하면 효율은 증가하는 것으로 나타나 일반적인 물질전달이론과 잘 일치하였다. 70% 이상의 효율을 가지는 범위를 나타내는 낮은 가스부하 및 높은 가스부하는 기액비가 1일 때는 $1.75, 2.75 \text{ kg}^{1/2} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{1/2}$ 로, 2.5일 경우는 $1.45, 2.27 \text{ kg}^{1/2} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{1/2}$ 로, 5일 경우는 $1.25, 1.90 \text{ kg}^{1/2} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{1/2}$ 로, 7.5일 경우에는 $1.10, 1.70 \text{ kg}^{1/2} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{1/2}$ 로, 10일 경우에는 $0.92, 1.59 \text{ kg}^{1/2} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{1/2}$ 로 나타나 기액비가 높을수록 운전범위가 줄어들음을 알 수 있었다.

Fig. 3은 Fig. 2의 자료를 이용하여 70%효율을 가지는 부하범위에 대해서 나타내었다. 이 그림은 Dualflex tray를 설계시 70%의 제거효율을 달성하기 위한 가스부하 및 기액비의 산정에 도움이 된다. $F_{V,0}$ 는 70%의 제거효율을 달성하기 위한 최대한의 값이며, $F_{V,U}$ 는 최소한의 값을 나타내고 있다.

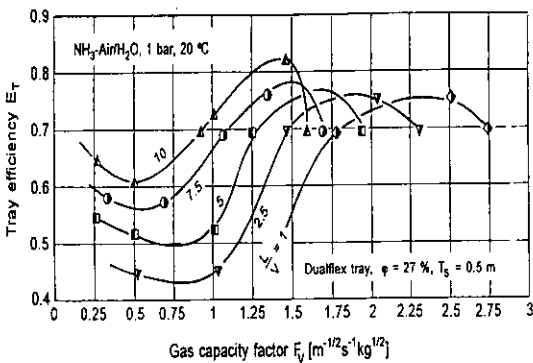


Fig. 2. Efficiency of a Dualflex tray in relation to vapour capacity factor at various liquid/vapour

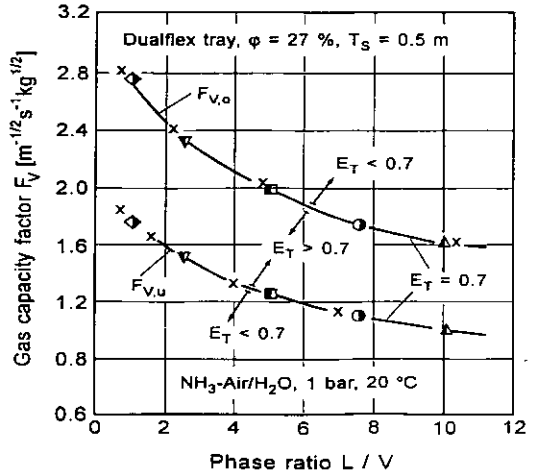


Fig. 3. Loading limit curves for Dualflex trays for the operating range with tray efficiency > 70%

Dualflex 트레이의 가스부하인수 F_V 의 함수로서 비압력손실 ($\Delta P/n_p$)에 대해 Fig. 4에 나타내었으며 Mackowiak(1983)⁹⁾의 연구결과와 비슷한 유형을 가지는 것으로 나타났다. 액체부하는 $0 \sim 65 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \text{ h})$ 의 조건으로 운전되었으며 실험결과 부하점은 가스부하가 $1.25 \text{ m}^{-1/2} \text{ s}^{-1} \text{ kg}^{1/2}$ 이하의 조건에서 나타났으며, 액체부하가 높을수록 공극율 등의 감소로 인한 압력손실의 증가는 현격하며 어느점 이상에서는 밸브가 움직이지 않는 운전으로 관찰되었고 압력손실도 급격히 증가함을 볼 수 있다.

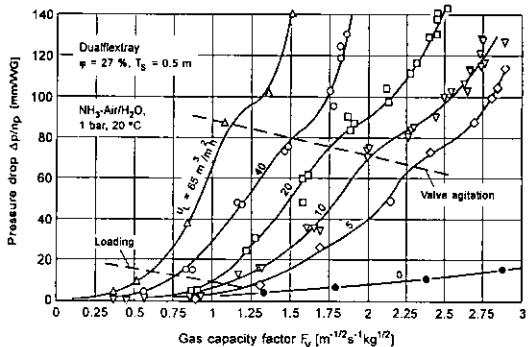


Fig. 4. Pressure drop on Dualflex tray in relation to vapour capacity factor at various liquid loadings.

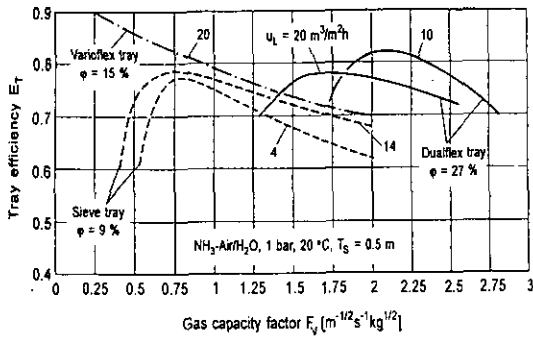


Fig. 5. Comparison of the efficiency of Dualflex, Varioflex and Sieve trays

Fig. 5에서는 Dualflex와 (R. Billet, J. Mackowiak, 1977)¹⁰ 등의 연구에 의한 Sieve 트레이 및 기존 널리 사용되어지던 고성능 Varioflex에 대해서 효과적인 부하 특성을 나타내었다. 이 그림으로부터 Dualflex 트레이는 Sieve 트레이가 범람으로 인한 효율을 잃어버리는 높은 부하 F_V 에서 가장 높은 효율 E_T 를 나타내는 것을 볼 수 있다. 이러한 이유 때문에 Dualflex 트레이는 효율을 유지하는 동시에 처리량을 증가해야 할 때 칼럼 개조가 필요한 고성능 트레이에 최적의 대안이 된다. 이러한 실험결과로부터 새로운 칼럼을 설계할 때 적당한 기/액비를 유지한다면 Dualflex는 효과적으로 적용할 수 있다.

IV. 결 론

연구결과에 따르면 처리용량의 증가가 요구되는 칼럼교체 및 새로운 칼럼의 적용에 대한 Dualflex의 적용은 처리용량의 대형화가 용이하고 수력학적인 특성 또한 기존의 트레이보다 높은 것으로 나타났다. 또한 Dualflex는 직교류 트레이와 비교하여 효율이 좋고 운전범위가 넓게 적용할 수 있어 조작 및 운전이 용이한 것으로 나타났다.

이상의 실험을 통한 것을 정리하면, Table 1에서 보는 바와 같이 효율 70%의 조건에서 Dualflex는 기존의 다른 트레이보다 물질전달이 일어나지 않는 부분이 훨씬 낮으므로 효과적인 물질전달이 일어남으로 운전비용의 절감으로 인해 에너지 절감의 효과가 있다. 이러한 높은 용량을 가진 고성능

Table 1. Percentual saving in tray area ΔAT and in column shell area ΔAC , when applying Dualflex trays instead of sieve trays.

Conditions	$u_L=10m^3/m^2h, E_T=0.7, T_S=0.5m$	
Mode of operation	Cross flow ¹⁰⁾	Counter flow
Principle of tray	Sieve	Dualflex
ϕ [%]	9	27
F_V [$m^{-1/2}s^{-1}kg^{1/2}$]	1.5	2.76
$d_{s,Dualflex}/d_{s,sieve}$	0.736	
ΔA_T [%]	45	
ΔA_C [%]	26	

트레이는 용량을 증가하기 위해 기존 장치를 개선할 때 사용될 수 있다. 본 연구에 적용한 Dualflex의 다른 장점으로는 밸브판의 운동으로 인한 판의 자기 세척효과 또한 중요한 장점으로 나타났다.

인용기호

ΔA [%]	Area saved		
d_s [mm]	Column diameter		
E_T [-]	Tray efficiency		
F_V [$m^{-1/2}s^{-1}kg^{1/2}$]	Gas loading factor		
L [kmol/h]	Liquid throughput		
L [kg/h]	Liquid throughput		
m [-]	Slope of equilibrium curve		
n_p [-]	Number of installed trays		
ΔP [mmH ₂ O]	Pressure drop of a tray		
T_S [m]	Tray spacing		
u_L [m^3/m^2h]	Liquid loading		
\dot{V} [kmol/h]	Gas throughput		
V [kg/h]	Gas throughput		
x [-]	Mole percentage of transferred component in the liquid		
y [-]	Mole percentage of transferred component in the gas		
x [%]	Mole percentage		
ϕ [%]	Open area of a tray		
λ [-]	Stripping factor		

참자

C	Column cell	L	Liquid
min	Minium	o	Column top
T	Trays	u	Column bottom
V	Gas	*	phase equilibrium

참 고 문 헌

1. R. Billet, J. Mackowiak : Neuse Verfahren zur Auslegung von Fullkorper-kolonnen fur die Retifikation Vortrag au dem Treffen der Verfahrens-Ingenieure Basel, Okteber, 1982
2. R. Billet, J. Mackowiak : Wirksamkeit von Fullkorperkolonnen bei der Adsorption, Desorption und Vakuumretifikation Sonderdruck vt 16 Nr. 2, s. 67-74., 1992
3. R. Billet, J. Mackowiak : How to use the Absorption Data for Dusing and Scale-up of Packed Columns Sonderdruck, Fette-Seifen-Anstrichmittel, S, 349-358, 1989
4. Stahl Apparate und Geratebeu GmbH, 68519 Viernheim, 1994
5. H. Ullrich, W. Deeke : Flussigkeitsverteilung mit offenen Verteil-errinnen Sonderdruck, vt 17 Nr. 4., 1987
6. H. Ullrich Verteilung Kleiner : Flussigkeitssstrom in Kolonnen Vortrag auf dem Jahrestreffen der Ver fahrensingenieure, Kunchen. pp 142-165, 1983
7. R. Billet, J. Mackowiak : Hiflow-Ring, ein Hochleistungsfullkorper fur Gas/Flussing Systeme Chemie-Technik, Nr.12, 1984
8. R, Billet : Energieeinsparung bei thermischen Stofftrennverfahren Alfred Hutting Verlag, Heidelberg, 1993
9. J. Mackowiak : Fachlaborscript Absorption Ruhr-University Bochum, 1983
10. R. Billet, J. Mackowiak : Flussingseitiger Stoffubergang bei der Absorption in Fullkorkolonnen Vortrag anlaβdes, Annual Research Meeting of the Institution of Chemical Engineers, Swansea/GB, Apri., 1977