

폐가스흡수장치의 기본 설계

〈1〉

■ 본연합회 발행「폐가스흡수처리」

흡수장치는 각종의 기·액 접촉 방식으로 된 것이 고안되어 있지만, 공업적인 가스 흡수조작에는 주로 탑형식의 충전탑과 스프레이탑이 사용되고 있다. 이들의 흡수탑 형식의 선정은 가스의 처리량과 그 성질 및 조작조건을 고려하여 흡수제의 결정과 같이 하고, 다음의 순서에 따라서 탑의 기본설계를 하게 된다.

- 1) 가스처리량에 대한 흡수액의 사용량, 즉 기·액 비를 선정하고 평형관계에서 NTU 또는 단수를 결정한다.
- 2) 다음에 흡수탑의 조업안정역을 고려하여 탑내의 유속을 구한다. 즉 충전탑에서는 loading 속도 또는 flooding 속도, 단탑에서는 weeping과 비말 동반조건, spray탑에서는 흡수제의 증발손실 및 mist에 의한 손실조건으로 탑의 직경을 결정하고 기·액의 각 유속을 구한다.
- 3) 이 조작조건에 근거하여 충전탑에 대해서는 충전물의 형식과 크기, 단탑에서는 단의 간격, Spray탑에서는 액적의 체류시간 등을 결정하고, 탑내의 기·액 접촉면적, 물질이동계수(용량계수), 단효율 등을 추정하여 탑 높이를 결정한다.

1. 흡수장치의 선정

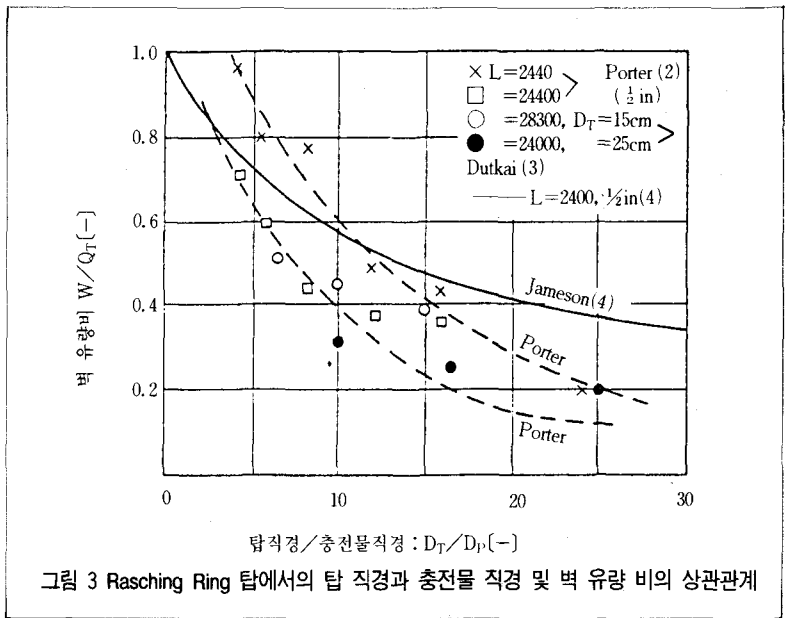
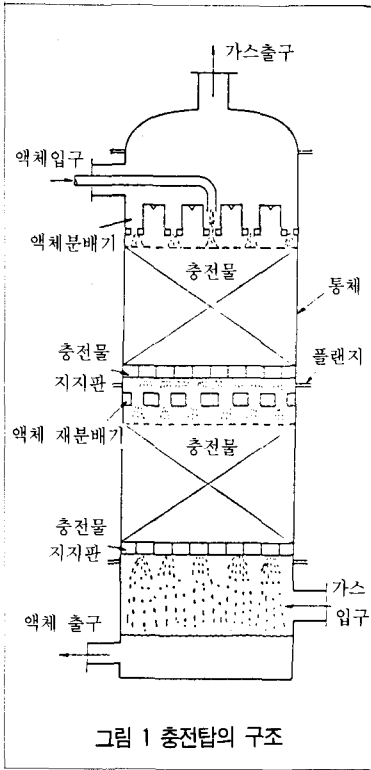
흡수장치로서의 충전탑, 단탑, spray탑은 각각 장단점이 있고, 그 process에 대응하는 최적의 형식인 것을 사용하고 있지만 그 선정 기준에는 다음의 인자가 고려된다.

- 1) 압력손실 : 스프레이탑, 충전탑, 단탑의 순으로 크게 한다. 압력손실이 큰 것은 가스의 송풍동력을 많이 필요로 하는 것이며, 다량의 가스를 처리하는 조작에서는 그 인자가 가장 중요하게 된다. 예를 들면 공기의 조습(燥濕) 또는 냉각조건이라든가 가스처리의 경우에는 액적식의 스크러버 방식이 바람직하다. 충전탑을 사용하는 경우는 압력손실이 적은 충전물, 즉 공간율이 큰 것은 유리하게 된다.
- 2) 기·액 접촉효율 : 단탑, 충전탑, 스프레이탑의 순으로 저하한다. 스프레이탑에서는 액적을 적게 할수록 기·액 접촉면적은 증대하지만 물질이동계수는 역으로 저하하여 그 위에 mist로서 배출될 수 있으므로 적정에는 한계가 있어 높은 접촉효율은 기대할 수 없다. 더욱 단탑에서는 가스 유속이 증대함에 따라서 비말이 동반되어 효율은 저하한다.

3) 구조 : 스프레이탑, 충전탑, 단탑의 순으로 복잡하게 되지만, 단탑 중에서도 다공판탑의 구조는 극히 간단하다. 복잡한 구조는 부식성 가스의 경우 특히 불리하게 되며 또 청소작업의 난이에도 관계한다. 일반적으로 같은 흡수효율을 얻는 데는 단탑쪽이 충전탑보다 중량이 적으므로 기초공사면에서는 유리하다.

4) Flow-dip : spray탑, 충전탑, 단탑의 순으로 크게 되고, 흡수액량을 많이 필요로 한다. Flow-dip이 크다는 것은 조업조건이 변화했을 경우 또는 start-up시 또는 운전 정지시의 액반출에 필요한 시간이 증대하므로 안정조업면에서는 불리한 조건이 된다. Tray는 액 flow-dip이 크지만 flooding은 충전탑 쪽이 일어나기 쉽다.

5) 편류(便流) : 가스 처리량의 증대에 따라 대형탑을 필요로 하지만 충전탑은 탑의 직경이 커짐에 따라 층내에 액분포가 생겨 편류로서의 채널링 현상 또는 편류가 일어나기 쉽고 효율은 저하한다. 이 점 단탑은 균일한 흐름으로 되기 쉽고 단상의 기·액은 공히 완전 혼합상태에 가깝다. 한편 Spray탑은 탑내의 혼합을 명확하게 규정할 수 없으므로 근사적으로 완



전 혼합이라 가정하고 있다.

2. 충전탑의 구조

충전탑은 일반적인 구조를 그림 1에 표시한다. 셸(Shell), 충전물, 액분배기(Distributor), 충전물 지지판(Packing support), 가스 및 액의 출입구 노즐과 대형탑에서는 액의 재분배기(Re-distributor)에 의해 구성되어 있다.

충전탑의 셸은 금속, 도기, 목재 등 고무 플라스틱을 라이닝한 것으로 만들어지고 그 속에 충전물이 채워진다.

충전물은 탑의 심장부라 할 수 있는 것으로 그림 2에 표시하는 형식의 충전물이 흡수탑에 사용되고 있다. 충전물이 갖추어야 할 특성에는 다음 인자를 열거할 수 있다.

- 1) 표면적이 크고 장치내의 단위 면적당 접촉면적이 클 것(용량계수).
- 2) 공간율이 클 것(압력손실).
- 3) 충전물 재질의 밀도가 적을 것(탑 중량, 지지판).
- 4) 부식성이 적을 것.

- 5) 가격이 저렴할 것.

표 1에 각종 충전물의 특성을 제시한다. 동종의 충전물에 대해서는 비표면적 a_p 가 큰 것일수록(충전물 직경이 적은) 유효 표면적 a 도 크고 흡수계수로서의 용량계수도 증대하지만, (4)식에서 명백한

표 1 충전물의 특성

바와 같이 압손실은 크게 된다. 충전물의 크기는 탑 직경을 고려하여 결정되는 것이 보통이다. 이것은 탑 직경 D_T 에 대해 충전물 직경 D_P 가 지나치게 크면 벽면 근방의 공간율이 충전층 내부와 달라서 액에서는 벽부분을 통과하는 흐름이 일어나기 쉽고 가스도 채널링 현상이 발생하여 물질이동계수의 저하를 가져온다.

벽 부근의 유량과 탑정예의 액량의 비(편류비)는 D_T 와 D_P 에 의해 그림 3에 표시하는 바와 같이 변화하지만, 액 유속의 영향도 제법 크다. 일반적으로 편류비는 액 유속이 크게 될수록 적어지고 충전 높리와 함께 증대하지만 어느 평형치에 수렴하는 경향이 인정된다. Perry의 Hand Book에 의하면 다음 값 이상이 바람직하다고 되어 있다.

Raschig Ring: $D_T/D_P=30$

Saddle: $D_T/D_P=15$

Pall Ring: $D_T/D_P=10\sim 15$

그러나 이 값은 Baker의 실측치 ($L=2440\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$)에 근거하는 것으로 충전탑의 조업조건으로서 반드시 타당하지는 않다. 최근의 연구에 의하면 그림 3에 표시된 것과 같이 탑의 직경은 충전물의 10 배 이상되면 어느 정도 균일한 액 분포가 기대되고 이것은 종래의 경험치와도 일치한다.

일반적으로 액측 지배계의 흡수 조작에 대해서는 높은 액 유속을 이용함으로써 액의 maldistribution은 대형탑의 경우에 따로 하면 크게 문제되지 않는다. 그러나 가스측 지배계의 경우는 낮은 액 유속으로 조업하므로 편류가 증가하는 가능성도 있어 액의 재분배기

충전물	재 질	크기(공칭) Dp (in)	두께 (in)	충전개수 (개/m ³)	충전밀도 (kg/m ³)	비표면적 a (m ² /m ³)	공간율 ε _d (%)	packing factor (ℓ/m)
Raschig Ring	자기제	1/4	1/32	3,110,000	737	787	73	
		3/8	1/16	848,000	817	440	68	1,620
		1/2	3/32	371,000	801	400	64	1,780
		3/4	3/32	111,000	705	262	73	
		1	1/8	47,700	641	190	73	521
		1½	1/4	13,200	673	115	68	356
		2	1/4	5,720	593	91.9	74	152
	3	3/8	1,700	641	62.3	74		
	Carbon	1/4	1/16	3,000,000	737	696	55	9,080
		1/2	1/16	374,000	433	374	74	1,220
		3/4	1/8	111,000	545	246	67	1,100
		1	1/8	46,800	433	187	74	557
		1½	1/4	13,800	545	123	67	302
		2	1/4	5,860	433	93.5	74	183
3	5/16	1,730	529	62.3	78			
Raschig Ring	금속 (탄소강)	1/4	1/32	3,110,000	2,400	774	69	
		1/2	1/32	417,000	1,230	420	84	985
		1/2	1/16	388,000	2,110	387	73	110
		3/4	1/32	120,000	881	274	88	606
		3/4	1/16	113,000	1,600	236	78	755
		1	1/32	50,900	641	206	92	377
		1	1/16	47,500	1,170	186	85	472
		1½	1/16	14,800	801	135	90	172
		2	1/16	6,360	609	103	92	187
		3	1/16	1,870	401	67.6	95	105
Lessing Ring	자기제	1	1/8	45,900	801	226	66	
		1½	1/4	12,400	929	131	60	
		2	3/8	5,300	785	105	68	
	금속 (탄소강)	1/4	1/32	2,890,000	3,120	1,010	60	
		3/8	1/32	887,000	1,830	712	76	
		1/2	1/32	387,000	1,600	546	81	
		3/4	1/32	112,000	1,140	356	85	
		1	1/16	44,200	1,520	242	80	
1½	1/16	13,800	1,040	176	87			
2	1/16	5,900	785	134	90			
Pall Ring ³¹	자기제	2	1/4	5,790	609	95.1	74	
		3	3/8	1,730	641	65.6	74	
	금속 (탄소강)	5/8	0.4mm	234,000	465	361	90.2	233
		1	0.8mm	50,900	513	207	93.8	147
		1½	0.8mm	13,300	376	129	95.3	79
		2	1.6mm	6,360	352	102	96.4	59
	Polypropylene	5/8		234,000	72.1	361	88	318
		1		50,900	72.1	207	90	170
	1½		13,300	67.3	128	90.5	105	
	2		6,360	67.3	102	91	82	

충전물	재질	크기(공칭) Dp (in)	두께 (in)	충전개수 (개/m ³)	충전밀도 (kg/m ³)	비표면적 a _v (m ² /m ³)	공간율 ε _d (%)	packing factor (ℓ/m)
Raschig Ring ¹⁾	자기계	1/4		3,990,000	897	899	60	
		1/2		572,000	865	466	63	1,250
		3/4		177,000	769	269	66	557
		1		77,700	721	249	69	361
		1½		20,500	609	144	75	213
		2		8,830	641	105	72	148
Saddle Inalox ¹⁾	자기계	1/4		4,150,000	673	984	75	1,970
		1/2		731,000	545	623	78	870
		3/4		230,000	561	335	77	
		1		84,200	545	256	77.5	322
		1½		25,000	481	195	81	170
		2		9,360	529	118	79	115
Teller's ²⁾		S형		32,500	110	185	88	
		L형		3,900	90	102	89	

1) Leva, M.: "Tower Packing and Packed Tower Design" 2nd ed., p.9-14,

2) Maker of the Catalog

라든가 wall wiper등을 마련하여 액을 중심부에 되돌리는 것이 필요하게 된다. 재분배기는 Raschig Ring에서 탑 직경의 약 3배, Saddle에서는 약 5~10배 정도의 간격으로 마련하는 것이 적합한 것으로 알려져 있다.⁶⁾

액 분배기(Distributor)는 액을 충전물상에 균일하게 분배시켜 편류로서의 액분포를 방지하기 위해 마련하는 것이어서 흡수탑의 효율에 미치는 영향이 크기 때문에 중요한 것이 된다. 또 재분배기(Re-distributor), 충전물 지지판(Packing support)은 액·가스가 완만하게 흐르도록 공급률을 탑 단면적의 50%이상으로 하고, 충전물의 공간율보다 큰 다공판이나 support grid 형, weir형 등이 사용되고 있다. 충전탑의 성능은 충전방법에 따라 액 분포가 달라지기 때문에 크게 좌우된다. 충전방법에는 가. 규칙충전(Stacked packing)

나. 불규칙충전(Dumped packing)

나-1 습식충전(Wet packing)

나-2 건조충전(Dry packing)

이 있다. 규칙충전은 충전물을 1개씩 규칙적으로 정확히 쌓아 올리기 때문에 액은 수직방향으로만 흘러 내리고, 압손실은 적지만, 반경 방향의 혼합액이 적어 특수한 경우에 이루어진다. 한편 불규칙충전은 가장 일반적인 방법으로 탑에 물을 채운 후 충전물을 조용히 떨어뜨리고, 뒤에 물을 빼는 습식충전이나 물을 채우지 않는 건조충전이 이루어지고 있다. 일반적으로 동일 충전물에서는 규칙충전보다 불규칙충전 쪽이 액의 접촉속도와 체류면적이 크게 되므로 용량계수는 크게 된다.

[예제 1] 암모니아 10.0vol%를 포함하는 공기를 20°C의 물로 세정하여 0.5vol%로 하고자 한다.

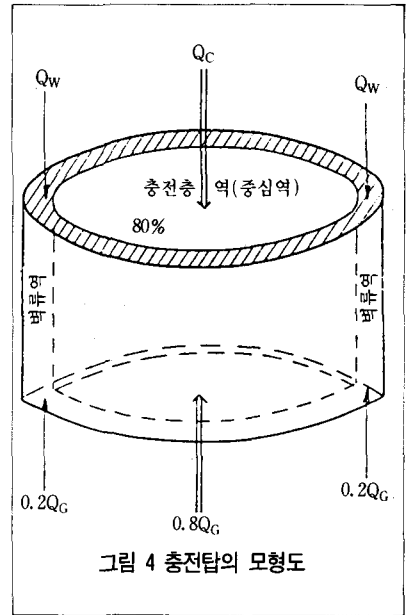


그림 4 충전탑의 모형도

충전물은 1/2inch Raschig Ring를 사용하여 액·가스의 유속을 같이 1500kg/m²hr로 했을 때 maldistribution에 의한 흡수효율의 저하를 계산하라.

[풀이]

이 maldistribution에 의해 일어나는 편류 혹은 벽류(壁流)라 보고, 그림 3에서 근사적으로 벽류비(壁流比) $W/Q_5=0.5$ 라 가정한다. 여기서는 W벽 유량, Q_T 는 전체 유량이다. 지금 탑을 그림 4에 표시하는 바와 같이 벽 유역과 중심 유역으로 분할하여 그 각각의 면적은 탑 단면적의 20%, 80%라고 하고 그 유역내의 각 유량을 벽 유량, 중심 유량이라 한다. 가스는 균일 분포라 가정하면

벽 유역 : $0.2Q_G, 0.5Q_T, (L/G)_W=2.5(L/G)_T$

중심 유역 : $0.8Q_G, 0.5Q_T, (L/G)_C=0.625(L/G)_T$

로 된다. 여기서 $(L/G)_T$ 는 기·액과 같이 균일 분포의 경우 각 질

표 2 Maldistribution의 흡수효율에 미치는 영향

	균일 흐름	벽류역	중심역
G(kg/m ² ·hr)	1500	1500	1500
L(kg/m ² ·hr)	1500	3750	940
mG _M /L _M (-)	0.465	0.187	0.745
k _G (kg·mol/m ² ·hr·atm)	1.16	1.16	1.16
k _L (m/hr)	0.108	0.161	0.0881
a _w (m ² /m ³)	72	100	61.2
k _G a(kg·mol/m ³ ·hr·atm)	83.65	116	71.0
k _L a(hr ⁻¹)	7.8	16.1	5.4
H _{OG} (m)	0.713	0.492	0.865
y ₂ (-)	0.005	0.0001	0.0099
N _{OG} (-)	4.39	8.23	4.70
Z(m)	3.13	4.05	4.06

량속도의 비이고 본 예제의 경우는 1이 된다. 지금 중심 유역과 벽 유역의 H_{OG}는 어느 것이나 충전층 내의 흐름이라 가정하면, 기·액 접촉면적 a로 하고 (1-73)식, 가스측 물질이동계수 K_G에 (1-75)식, 액측 물질이동계수 K_L에 (1-74)식이 적용되고, 표 2에 표시하는 바와 같이 산출된다. 이때 물질치에는 다음의 값을 이용하였다. 확산계수 : D_G=6.43×10⁻¹, D_L=7.35×10⁻⁶m²/hr
점도 : μ_G=6.3×10⁻², μ_L=3.60kg/m·hr
밀도 : P_G=1.18ρ_L=1,000kg/m³
평균분자량 : M_{av}=28.4

한편 N_{OG}은 (1-55)식에서와 같이 mG_M/L_M에 따라 변화한다. 여기서 L_M=83.5kg·mol/m²·hr, G_M=52kg·mol/m²·hr

평균 관계는
y=0.76x

로 주어진다고 한다. 탑정 가스의 평균농도 y₂=0.005, 공급가스 농도 y₁=0.100, 탑정액의 공급액 농도 x₂=0.00이고, maldistribution의 영향만을 구하는 것이므로 근사적으로 조작선을 직선으로 하여

N_{OG}을 (1-55)식에서 산출하는 것으로 한다. 즉,

$$N_{OG} = \frac{1}{(1 - mG_M/L_M)} \ln \left\{ \left(\frac{y_1}{y_2} \right) \left(1 - \frac{mG_M}{L_M} \right) + m \frac{G_M}{L_M} \right\} \quad (1)$$

한편, 벽 유역과 중심 유역에서 다음의 관계가 성립한다.

$$(H_{OG})_w(N_{OG})_w = (H_{OG})_c(N_{OG})_c = Z \quad (2)$$

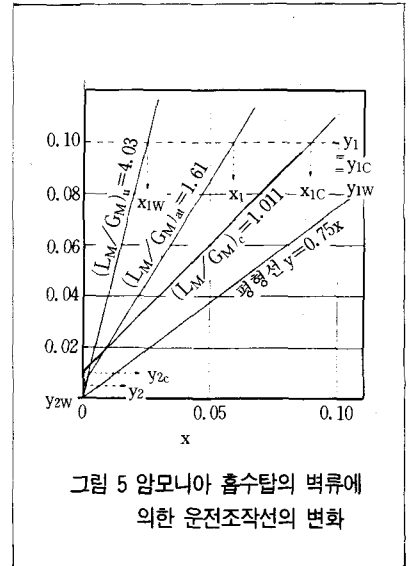
탑정 가스 조성은
(y_{2c} + y_{2w})/2 = y₂ \quad (3)

이므로 (2), (3) 식에서 시행착오법에 의해 구하면

y_{2c}=0.0099, y_{2w}=0.0001를 얻는다. 지금 이 관계를 조작선으로서 표시한 것이 그림 5이다. 또한 균일흐름이라 가정한 경우의 조작선도 표시되어 이 경우의 필요한 충전고는 3.13m로 된다. 이 결과 표 2에서 보는 바와 같이 maldistribution에 의해 충전고는 4.06m 필요하고, 탑효율이 약 26.2% 저하한 것이 된다.

이 계산 예는 mol이 적은 가스측 지배계이고, stripping factor(=

mG_M/L_M)로서 0.5에 가까운 값에 상당하는 액 유속을 이용하였으므로 벽류가 많아져 탑효율은 저하되었다. 따라서 이와 같은 system에서는 maldistribution을 방지하기 위해 mG_M/L_M의 최적치를 0.5보다 적게 선택하는 것이 유리하다고 생각된다.



3. 충전탑의 압손실

항류식(Counter current)의 충전탑에서 액 유속을 일정하게 유지하면서 가스유속을 증가하여 그림 6과 같이 압손실 ΔP가 급속히 증대하는 점(P)이 나타난다. 이 점을 loading 점이라 한다. 또한 가스 유속을 증가시키면 액의 유하가 불가능하게 되는 점(F)이 나타난다. 이 점을 flooding 점(유티점)이라 하고, 이 가스·속도를 flooding 속도라 부른다.

충전탑은 flooding 점에서 조업하는 것은 불가능하여 일반적으로 loading점 이하에서 조업할 수 있

도록 설계하는 것이 바람직하다. 충전탑의 압(압력)손실은 그림 6 과 같은 건조시에는 Carman의 식에서도 추정되는 $\Delta P \propto u_G^{2.0}$ 의 관계를 나타낸다. 그러나 액을 흘렸을 경우는 액이 점유하는 공간에 의한 공간율의 감소에 의해 동일 가스 유속에 대해 ΔP 는 증대하고, u_G 의 약 1.8~2.0곱에 비례한다.

Loading점 이하의 압손실의 계산에는 Max Leva의 식⁷⁾이 비교적 간단하고 실용적이다.

$$\frac{\Delta P}{Z} = \alpha 10^{\beta L} / \rho_L \left(\frac{G^2}{\rho_G} \right) \quad (4)$$

여기서 ΔP 는 압손실(kg/m^2), Z 는 충전층 높이(m), G 와 L 은 기·액의 질량속도($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$), ρ_G, ρ_L 은 기·액의 밀도(kg/m^3), α, β 는 실험정수이며 표 3에 표시한다. 또한 각종 충전물의 압손실 data는 5-4에 제시되어 있

표 3 압력손실 계산식(4)의 정수(상수)⁷⁾

충전물		α $\times 10^6$	β	적용범위 $L(\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{hr})$
종류	크기 (inch)			
자기재 Raschig Ring	1/2	14.95	0.0236	1500~42000
	3/4	3.54	0.0148	8800~53000
	1	3.45	0.0143	1760~132000
	1 1/2	1.30	0.0131	3500~8800
	2	1.20	0.0097	3500~105000
자기재 Berl Saddle	1/2	6.50	0.0112	1500~6900
	3/4	2.59	0.0097	1760~70000
	1	1.72	0.0097	3500~140000
	1 1/2	0.861	0.0074	3500~105000
Intalox Saddle	1	1.34	0.0091	11300~70300
	1 1/2	0.605	0.0074	11300~70300
Telleret	S형44(mm)	1.90	0.0113	
	L형95(mm)	0.575	0.0072	

*1) 일철화공기주식회사기술자료

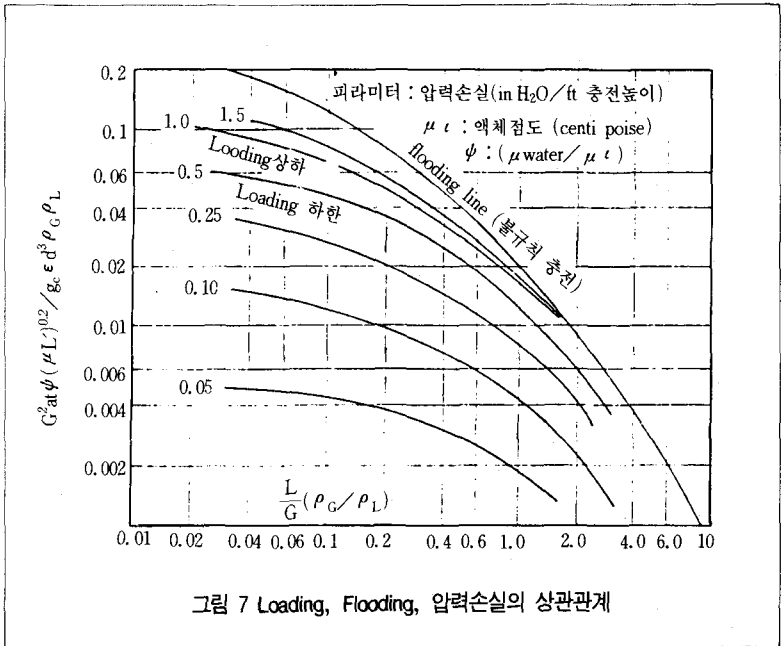


그림 7 Loading, Flooding, 압력손실의 상관관계

다. 충전탑의 탑경을 결정하는 데는 일정한 가스 처리량에 대해 flooding 속도를 구하고 이 값에 적당한 여유를 갖도록 하여 설계된다. 근

사적으로 loading점은 flooding 속도의 40~70% 정도의 속도로 나타내지만 다음의 속도비를 적당하다고 본다.

Raschig Ring: 60~80%

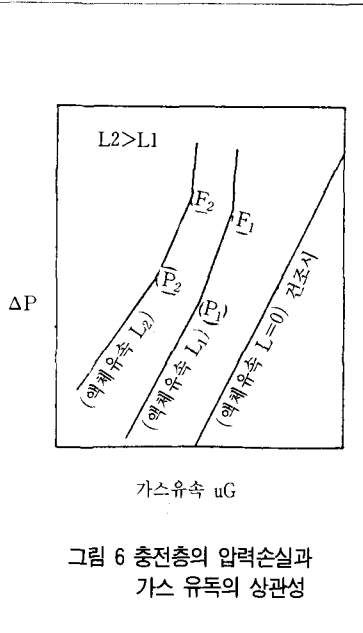


그림 6 충전층의 압력손실과 가스 유속의 상관성

Berl saddle : 65~80%

Intalox : 65~85%

Telleret : 75~100%

Flooding 속도의 계산은 Lobo 등⁹⁾ Eckert⁶⁾의 상관도를 이용하면 용이하게 구할 수 있다. 그림 7은 Eckert의 관계이고, 액점도 μ_L 만 cent-poise를 이용하면 다른 것은 통일된 단위를 쓰면 된다. 또한 그림 중의 Parameter는 충전층 1ft 당의 ΔP 를 수주(inch)로 표시한 것이다. 또 flooding 속도는 다음 식¹⁰⁾에서도 그림 7과 같은 정도로 계산된다.

$$\ln \left[\frac{G_F^2 a_t (\mu_L / \mu_W)^{0.2}}{g_c \epsilon_d^3 \rho_L \rho_G} \right] = -4 \left(\frac{L}{G} \sqrt{\frac{\rho_G}{\rho_L}} \right)^{1/4} \quad (5)$$

그림 7 및 (5)식에서 G_F =flooding 속도($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$), a_t =충전물비 표면적(m^2/m^3)(표1 참조), ρ_G, ρ_L =기·액의 각 밀도(kg/m^3), μ_L, μ_W =액 및 물의 각 점도($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$ 또는 (cP), G, L =기·액의 각 속도($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$), g_c =중력환산계수($\text{kg} \cdot \text{m}/\text{kg} \cdot \text{hr}^2$), ϵ_d =공간율(-)(표 1참조).

[예제 2] 20°C, 1atm, 밀도 1.

30kg/m³의 가스를 매시 500m³, 3000kg/hr의 물로 처리하기 위해 1inch 자기제 Berl Saddle을 채운 충전탑을 사용코자 한다. 이 흡수탑의 직경은 얼마로 하면 되는지 또 그때의 압손실을 구하라.

[풀이]

가스량 = GS = (500)(1.30) = 650kg/hr

수량 = LS = 3000kg/hr

물의 밀도를 1000kg/m³로 하고, $(L/G)(\rho_G/\rho_L)^{1/2} = (3000/650)(1.30/1000)^{1/2} = 0.179$ 로 되므로 그림 7에 대응하는 flooding 선을 읽으면

$$G_F^2 a_t \psi (\mu_L')^{0.2} / g_c \epsilon_d^3 \rho_G \rho_L = 0.090$$

1 in Berl Saddle에 대해 표 1에서 $a_t = 249(\text{m}^2/\text{m}^3)$, $\epsilon_d = 0.69$ 또 물이므로 $\psi = \mu_W / \mu_L = 1.0$, $\mu_L' = 1\text{cP}$ 로 해서

$$G_F = \sqrt{(0.09)(1.27 \times 10^8)(0.69)^3 (1.30)(10^3) / (249)} = 4430 \text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$$

(5)식에 의해서도 거의 같은 값으로 된다.

Berl Saddle의 최적인 속도는 위에서 설명한 바와 같이 flooding속도의 65~80%로 알려져 있으므로

$$D_T = \sqrt{GS / 0.65 G_F} (4/\pi) =$$

$$\sqrt{(650/2880)(4/\pi)} = 0.536 \text{m}$$

$$D_T = \sqrt{(GS/0.8G_F)(4/\pi)} = 0.484 \text{m}$$

따라서 탑의 직경은 0.484~0.536m 사이에서 결정하면 되지만 지금 0.5m라 하여

$$S = (0.5)^2 (0.785) = 0.196 \text{m}^2$$

$$\therefore G = (650) / (0.196) = 3320 \text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$$

$$L = (3000) / (0.196) = 15300 \text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$$

이 기·액 속도는 $G^2 a_t \psi (\mu_L')^{0.2} / g_c \epsilon_d^3 \rho_G \rho_L = 5.1 \times 10^{-2}$ 로 되고, loading 상한값은 그림 7에서 6.5×10^{-2} 로 되므로

$$G/G_{\text{load}} = [(5.1 \times 10^{-2}) / (6.5 \times 10^{-2})]^{1/2} = 0.885$$

로 되고, 상한값의 88.5%로써 작업조건으로서 만족할 수 있다. 압손실은 (4)을 이용하여

$$\Delta P/Z = (1.72 \times 10^{-6}) \cdot 10^{(0.0097)(15300)/(10^3)} \cdot (3320)^2 / (1.30)$$

$$= (1.72 \times 10^{-6})(1.407)(8.07 \times 10^6) = 19.5 \text{Kg}/\text{m}^2 (\text{충전층 } 1\text{m})$$

$$= (19.5)(10^{-4})(10.01)(10^3) = 19.5 \text{mm 수주}/\text{충전층 } 1\text{m}$$

환경측정분석요원모집

구분	자격기준(남·녀공통)	구비서류
분석	간부 및 경력: 대기 또는 수질 부분 측정 실무 경험자	이력서 자격증사본
	현장관리 신입사원: 대기 또는 수질 2급 보유자	자기소개서 주민등록등본
측정영업 기술영업	환경영업에 자신 있는자	이력서 자기소개서

- 전형방법: 서류심사 -면접
- 제출기한: 1994. 6. 4일 한
- 제출처: 경기도 안산시 원곡동 994(산업용제상가 편익B동 302호)

TEL : (0345)492-6311-3

주식회사 시티 환경