

충전탑의 구조 설계

(3)

■ 본연합회 발생「폐가스흡수처리」

5. 탑의 내부 부착물

5-1 Demister

와이어 메쉬, 플라스틱 메쉬 등 본래의 Demister 외에 충전물을 사용하는 경우가 있다. 이때 충전물 size는 본체의 충전물과 동일 size 또는 1 size 적은 것이 사용되어 충전고는 0.3~0.5m 정도이다.

5-2 Distributor

종류로서 spray식, 액주식, 다공판식, V-노치트레이식 등이 있다.

1) Spray식

액을 압송하여 분무화하는 방식이며 그 자체가 한 개의 기·액 접촉장치이고, spray탑으로서 흔히 사용된다. 고온가스의 가스흡수 조작이 전 처리로서 급냉조작에 유효한 방식이지만 충전탑 자체에 사용하는 경우는 바로 충전층에 충돌하여 효력을 상실함과 동시에

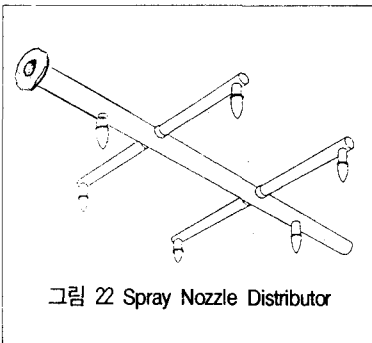


그림 22 Spray Nozzle Distributor

비말 동반을 일으키기 쉬워 유효한 방식이라고는 할 수 없다(그림 22).

2) 액주식

Pipe를 빗살형 또는 Ring형으로 하여 3~10mmø의 Hole을 뚫은 것으로 구조는 아주 간단하고 분산성, 경제성이 뛰어나며 압손도 그리 크지 않다. 폐색성이 없는 액이라면 가스 흡수에 적합한 Distributor의 하나이다.

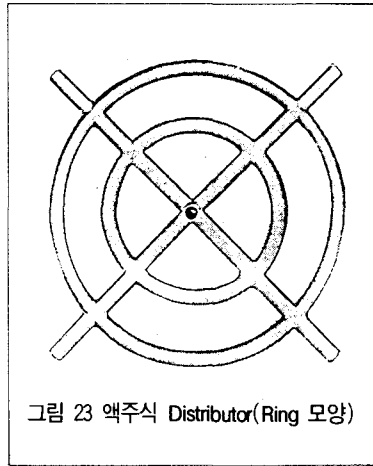


그림 23 액주식 Distributor(Ring 모양)

[설계 예] $W_L = 50m^3/hr$ 의 물을 $L = 20m^3/m^2 \cdot h$ 로 처리하고자 한다. 액주식의 Distributor를 설계하라(그림 24).

탑내경(D) = $(50/20)^{1/2} (1/0.785)^{1/2} \times 10^3 = 1780mm\phi$

배경관(B) = 100A

Header직경(A)(B의 1 size 큰 것)

= 125A

Hole 직경 : d = 5mmø로 한다.

Hole의 수 : n = 100개/m²라 한다.

Hole로부터의 액의 토출속도 :

$U = 20 / \{(3600)(5 \times 10^{-3})^2 (0.785) \times (100)\} = 2.83m/sec$

압손 : $u = c\sqrt{2g_c H}$ Bernoulli's 식을 이용한다.

C = 0.61로 한 경우는 H = 1.1m - H₂O

Hole 핏치(P, Q) n = 100개/m² 이므로

P = Q = 100mm

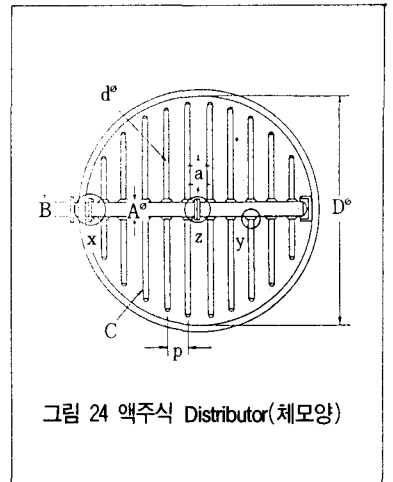


그림 24 액주식 Distributor(체모양)

측관에는 일반적으로 25A pipe가 사용된다. 구조적으로는 x, y, z 등의 부분을 Flange 또는 Screwed type로 하면 탑에의 설치가 용이하다.

3) 다공판식

다공판에 gas riser를 조합한 방식으로 Head가 크게 차지하지 않고 또 신축성이 없으므로 gas 흡수에서는 오히려 redistributor로서 널리 사용된다(그림 25).

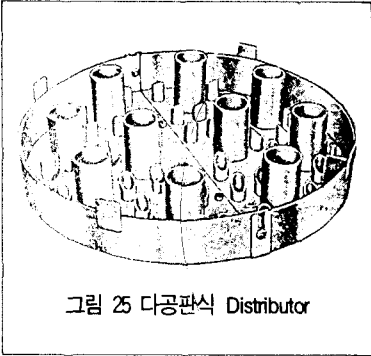


그림 25 다공판식 Distributor

4) V-노치트레이

황산공업 등 폐색성의 distributor로서 널리 사용된다. 설치하는 경우 특히 수평 등이 문제가 된다(그림 26).

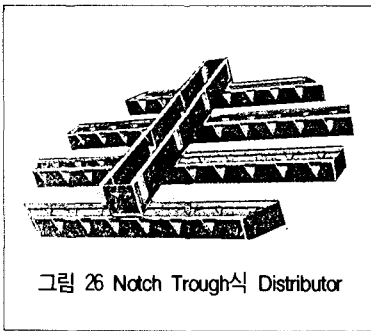


그림 26 Notch Trough식 Distributor

5-3 Redistributor

1) 다공판식

액 깊이의 산출에는 액주식과 같이 Bernoulis의 식을 적용할 수 있다.

Gas riser에서 액이 over flow하는 경우는 gas riser 속에서 Flooding을 일으키기 쉬우므로 gas 속도

환경관리인. 1994. 9

나 액의 over flow 구조에 주의가 필요하다(그림 25).

2) Wall-wiper

충전탑에서 액은 일반적으로 벽에 모이기 쉬우므로 이것을 중앙으로 되돌아가게 하는 것이다(그림 27).

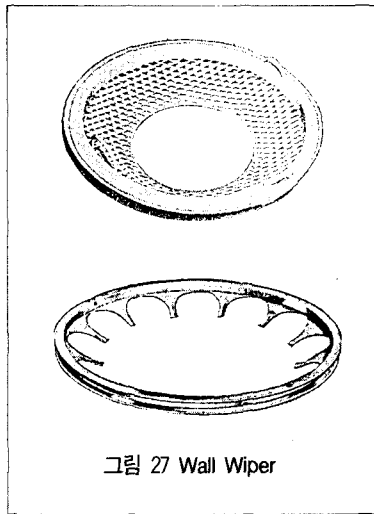


그림 27 Wall Wiper

충전물을 Redistributor 위에 직접 충전하든가 wall wiper를 충전물 속에 묻히게 설치하면 거기서 Flooding을 일으키는 일이 있으므로 주의를 해야 한다.

일단 Support로 충전물을 받고 공간부를 두어야 하지만, 이를 두면 어느 정도의 공간을 요하므로 다소 H_{OG} 가 나쁘더라도 그만큼 여분으로 충전물을 충전하여 충전고를 크게 하는 편이 유리한 경우도 있다. 그러나 최근 이 Redistributor의 필요성에 의문을 갖게 하고 있다.^{1,2)}

다음에 충전탑의 액의 편류에 대해서 문제로 되는 경우가 있지만, 액의 편류는 충전물의 성질, 가스의 편류, 탑의 기울기, Distributor의 성능불량 등에 따라 일어

난다. 그림 28에 $L=10000\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$, $G=0$ 의 조건하에서 시행한 액의 편류실험 결과를 제시한다. 이에 의하면 선구조의 충전물에서는 최초의 Distribution이 최후까지 지속되고, 면구조의 충전물에서는 벽쪽에 편류하는 양상을 잘 알 수 있다. 따라서 선구조 충전물에서는 Distributor에 면구조 충전물에서는 Redistributor에 주의를 요한다. Tellerette와 같은 플라스틱제 구조 충전물에서는 오히려 자중에 의한 변형이 생기는 점을 고려하여 1 section의 높이를 결정하는 경우가 많다.

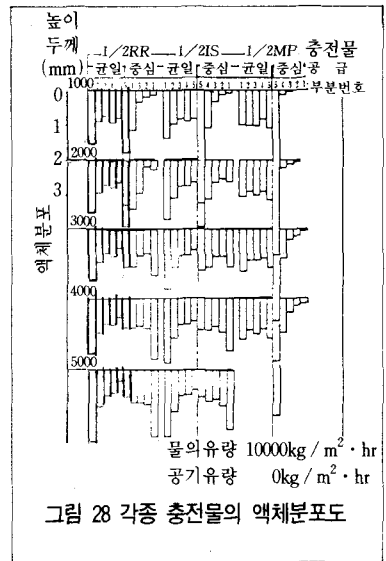


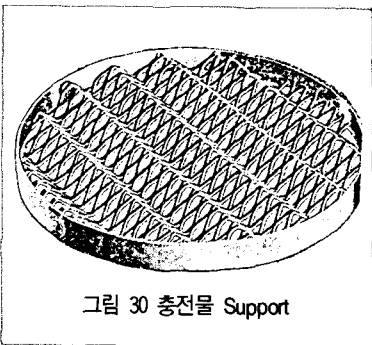
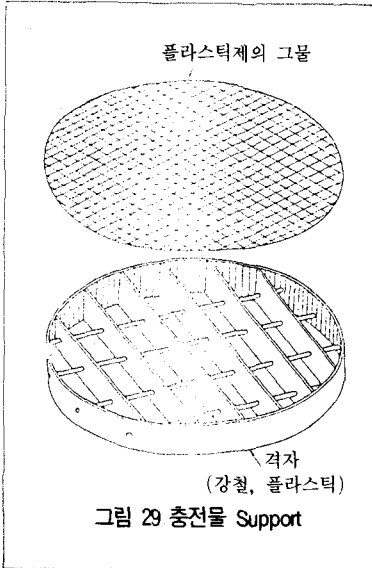
그림 28 각종 충전물의 액체분포도

5-4 Support

Support의 선정에는 충전물이 떨어지지 않을 것과 개구비가 충분히 클 것과 기계적, 열적, 화학적 강도에 견딜 수 있어야 하는 등에 주의를 요한다.

다공판은 가장 간단한 support이지만 압손이 크고 Flooding을 일으키기 쉽다. 그림 29에 제시한 su-

upport는 plastic망과 격자를 조합한 것으로 실용성이 있는 support의 예이다(그림 29, 30참조).



6. 탑의 동적 구조물로서의 설계

앞 절까지는 탑을 정적 구조물 (static structure)로서 설계했지만, 바람 또는 지진 등에 의해 주기성 하중을 받을 때 탑이 공진을 일으켜 위험상태에 빠지는 경우도 생각되므로, 이른바 탑을 동적 구조물 (dynamic structure)로 간주하는 생각이 필요하게 된다. 그러나 동적 해석은 문제가 복잡하여 구미

에서도 아직 완전히 해명되어 있지 않다.

ASME에서는 동적 구조물로서의 설계에 대해 다음의 문제점들을 제기하고 있다.

- 1) 탑이 어떤 조건을 가질 때 종래의 정적인 방법과 달리 동적 구조물로서의 설계를 하여야 하는가.
- 2) 동적 설계의 가장 실용적인 방법은 무엇인가.
- 3) 선택방법이 처음부터 끝까지 일관된 결과를 가져오는가.
- 4) 동적 설계로 된 탑의 진동주기가 일상의 바람에 대해서는 문제되지 않는 주기인가.
- 5) 탑의 부속물(배관, condenser, ladder, platform 등)이 위험 풍속에서 spiral에 의한 공진을 방지할 수 있는가.

6-1 탑의 자체 진동

탑은 일종의 직립한 cantilever라 생각되므로 그 진동의 주기는 다음 식으로 표시된다.

1차 진동

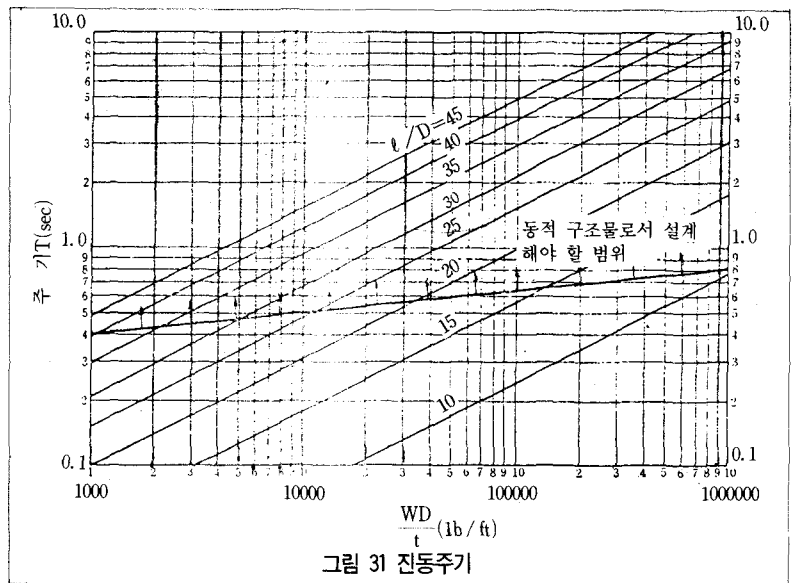
$$T_1 = \frac{2\pi}{3.515} \sqrt{\frac{w\ell^4}{EIg}} \quad (44)$$

2차 진동

$$T_2 = \frac{2\pi}{22.03} \sqrt{\frac{w\ell^4}{EIg}} = \frac{1}{6.27} T_1 \quad (45)$$

단, w =탑의 단위 중량(kg/m)
 ℓ =탑의 높이(m)
 I =shell판의 관성 moment (m^4)
 E =shell판의 탄성계수(kg/m²)
 D =shell판의 중심경(m)
 t =shell판의 두께(m)
 g =중력의 가속도(m/sec²)
 여기서 동판으로 만든 탑에 대해서는

$$E = 2.1 \times 10^{10} \text{ (kg/m}^2\text{)}, \quad I = \frac{\pi}{64}(d_2^4 - d_1^4) \\ \approx (\pi/8)D^3t \text{ 을 대입하면}$$



$$T_1 = 6.27 \times 10^6 \left(\frac{\ell}{D} \right) \times \sqrt{\frac{wD}{t}}$$

$$= 1.61 \times \sqrt{\delta_{\max}}$$

단, δ_{\max} = 자중에 의한 cantilever의 정상 부분의 deflection(m)

그림 31은 T_1 값을 (ℓ/D) 와 (wD/t) 를 parameter로써 표현한 것이다. 탑의 고유진동의 주기가 크게 되면 동적 설계를 해야만 되지만 ASME이 제기한 문제점의 1)과 같이 동적 구조물로서 설계해야 할 주기의 경계를 어떻게 결정하는가가 문제로 된다.

과거 미국의 석유회사 등에서는 단지 주기가 0.4sec 이상인 탑은 모두 동적설계를 하도록 결정하였지만, 그후 여러가지 경험 Data에서 그림 31에서 굵은선 윗방향의 범위에 속하는 탑을 동적 설계의 한계로 하도록 수정하고 있다.

6-2 지진에 의한 진동

지진에 의한 피해는 진도의 대·소에도 관계되지만 지진의 진동주기가 탑의 자기진동에 가까운 값이면 위험성이 크다. 탄성체로서의 탑은 가속도에 의한 힘 외에 동적 구조물로서 주기, 진폭, 계속 시간, 지반 등이 영향을 미친다.

정적 설계인 경우는 탑에 미치는 지진의 영향은 주로 그 최대 가속도에 의해 정해진다는 생각에 기인하는 것이다. 즉 탑에 작용하는 지진력을 탑의 질량과 지진의 최대 가속도의 곱인 힘이 수평하게 정적으로 가해진 것으로 취급하고 이것에 의해 탑내에 생기는 응력을 계산하는 것이다. 이에 탑이 비

교적 강성이 풍부한 경우에는 대체적으로 타당하다. 그러나 탑이 높고 가소성이 풍부한 것, 즉 탄성체라 생각할 수 있는 경우는 진도에 의한 설계법만으로는 한 쪽 팔이 떨어져 나간 격이 된다. 즉 지진력은 기초에서 zero, 탑정에서 최대로 되고, 윗부분, 밑부분 공히 함께 가속도를 위하는 것은 적절치 않다. 또 지진에 의한 파괴는 탑의 자기 진동주기와 공진에 의한 외에 지진파 중 파괴적인 파가 크게 관계한다고 생각된다. 파괴의 인자로서는 짧은 주기의 탑에는 가속도, 긴 주기의 탑에는 변위가 있다고 생각된다.

6-3 바람에 의한 진동

탑에 바람이 불어칠 때 탑의 풍하측에서 사외측에 교대로 spiral이 발생하고 spiral의 원운동 때문에 바람의 방향에 대해서 직각으로 횡진동이 생겨 탑을 옆으로 밀어 움직이려 한다. 이것은 spiral 발생이 진동의 강제력으로 되어 바람에 의한 spiral 발생주기와 탑 고유의 진동주기가 일치했을 때 공진을 일으키는 것이라 생각된다.

풍속 V (m/sec)와 spiral 발생하는 진동수 f 와의 관계는 다음 식으로 표현

$$V = \frac{fD}{k}$$

$$\therefore T = \frac{1}{f} = \frac{D}{kV} \quad (46)$$

단, D = 탑의 외경(m)

T = Spiral이 발생하는 주기
 k = Strouhal수

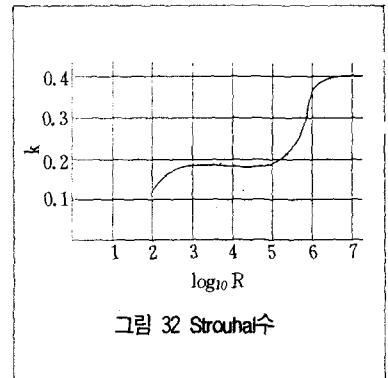


그림 32 Strouhal수

k 의 값에 대해서는 V. Strouhal이 1878년에 발표했지만, 그후 $0.18 \leq k \leq 0.27$ 의 값을 표시하는 것이며 또 탑의 평활함 및 유속의 관계라고 하는 것이 정설이다. 이 바람의 영향은 평활한 탑에서 일어나고 탑 부속물이 외부에 부착되는 경우는 경감된다. 또 내부 tray에 액체를 갖는 경우에는 그 액체가 진동에 대해서는 맴퍼로 작용한다. 그림 32는 Relf Simmons가 레이놀즈 수 대 Strouhal수의 변화를 실험적으로 구한 것이다.

여기서 탑 고유의 진동수를 f , 지진력 또는 풍력에 의한 가진력의 진동수를 η 라 할때 건축기준에서는 $0.85f < \eta < 1.3f$ 의 범위를 피하도록 규정하고 있고, f 가 이 범위에 들어가는 경우는 D 또는 ℓ 을 변경하여 설계를 다시 할 필요가 있다.

註

- 1) Jameson, G. J.: Trans. Inst. chem. Engrs., 45, T74(1967)
- 2) Hoflyzer, P. J.: ibid. 42, T109(1964)
- 3) 일본화학공학회 제36년차 강연요지집

환경오염 내일없고 오염방지 계절없다