

KOSHA GUIDE

D - 60 - 2017

플래어시스템의 녹아웃드럼  
설계 및 설치에 관한 기술지침

2017. 11.

한국산업안전보건공단

## 안전보건기술지침의 개요

- 작성자 : 전남대학교 화학공정안전센터 정창복 교수  
          전남대학교 화학공정안전센터 마병철 교수
  
- 제·개정 경과
  - 2017년 11월 화학안전분야 제정위원회 심의(제정)
  
- 관련 규격 및 자료
  - API RP 520, “Sizing, Selection, and Installation of Pressure - relieving Devices in Refineries”, 2014
  - API STD 521, “Pressure - relieving and Depressuring Systems”, 2014
  
- 기술지침의 적용 및 문의
  - 이 기술지침에 대한 의견 또는 문의는 한국산업안전보건공단 홈페이지([www.kosha.or.kr](http://www.kosha.or.kr))의 안전보건기술지침 소관 분야별 문의처 안내를 참고하시기 바랍니다.
  - 동 지침 내에서 인용된 관련규격 및 자료, 법규 등에 관하여 최근 교정본이 있을 경우에는 해당 개정본의 내용을 참고하시기 바랍니다.

공표일자 : 2017년 11월 27일

제 정 자 : 한국산업안전보건공단 이사장

# 플레어시스템의 녹아웃드럼 설계 및 설치에 관한 기술지침

## 1. 목적

이 지침은 안전밸브 방출물 등에 포함되어 있는 액체가 플레어스택으로 가스와 함께 흘러들어 가지 않도록 액체를 분리·포집하기 위하여 설치하는 녹아웃드럼의 설계 및 설치에 필요한 사항을 제시하는데 그 목적이 있다.

## 2. 적용범위

이 지침은 안전밸브 등에서 방출된 플레어에 포함된 액체를 분리·포집하기 위하여 설치하는 녹아웃드럼에 적용한다.

## 3. 정의

(1) 이 지침에서 사용되는 용어의 정의는 다음과 같다.

(가) “플레어시스템 (Flare System)”이라 함은 안전밸브 등에서 방출되는 물질을 모아 플레어스택에서 소각시켜 대기 중으로 방출하는 데 필요한 일체의 설비를 말하며 플레어헤더, 녹아웃드럼, 액체 밀봉드럼 및 플레어스택 등과 같은 설비를 포함한다.

(나) “안전밸브 (Safety valve)”라 함은 밸브 입구 쪽의 압력이 설정압력에 도달하면 자동적으로 스프링이 작동하면서 유체가 분출되고 일정압력 이하가 되면 정상상태로 복원되는 밸브를 말한다.

(다) “플레어헤더 (Flare header)”라 함은 안전밸브 등에서 방출된 가스 및 액체를 그룹별로 모아서 플레어스택으로 보내기 위하여 설치되는 주 배관을 말한다.

(라) “녹아웃드럼 (Knock-out drum)”이라 함은 안전밸브 등의 방출물에 포함되어 있는 액체가 플레어스택으로 가스와 함께 흘러들어 가지 않도록 액체를 분리 포집하는 설비를 말한다.

(마) “버닝레인 (Burning rain)”이라 함은 액체상태의 탄화수소 화합물이 불완전연소되어 플레어스택 상부에서 지표면 등으로 떨어지는 현상을 말한다.

(2) 기타 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 특별한 규정이 있는 경우를 제외하고는 산업안전보건법, 같은 법 시행령, 같은 법 시행규칙 및 산업안전보건기준에 관한 규칙에서 정의하는 바에 따른다.

## 4. 녹아웃드럼의 분류

### 4.1 녹아웃드럼의 형태에 따른 분류

녹아웃드럼은 형태에 따라 수평 녹아웃드럼과 수직 녹아웃드럼으로 분류되며, 그 특징은 다음과 같다.

- (1) 수평 녹아웃드럼은 액체 저장용량이 크게 요구되고 증기의 유량이 클 때 설치될 수 있으며 낮은 압력강하를 갖는 특징이 있다.
- (2) 수직 녹아웃드럼은 액체부하가 낮거나 별도 설치공간이 부족할 경우에 선택되며, 플레어스택 하부에도 직접 설치가 가능하다.

### 4.2 녹아웃드럼의 증기흐름의 경로에 따른 분류

증기흐름의 경로에 따라 여러 가지 형태로 구분된다.

- (1) 용기 한 쪽 끝에서 유입된 증기흐름이 반대 쪽 상부로 유출되고 내부에는 방해판이 없는 형태의 수평드럼
- (2) 용기의 중심 방향으로 유입된 증기흐름이 방해판에 의해 아랫방향으로 전환되어 수직축 상부로 유출되는 수직드럼
- (3) 접선 방향으로 유입된 증기흐름이 회전하며 하강 후 중심 관 밑에서 상승하는 방향으로 전환하여 유출되는 수직드럼
- (4) 수평축 양 끝에서 유입된 증기 흐름이 가운데 출구로 나가는 수직드럼
- (5) 중심에서 유입된 증기흐름이 수평축 양 끝으로 나가는 수평드럼

## 5. 녹아웃드럼에서 액적의 크기 기준

안전밸브 등에서 방출되는 기체흐름 중 크기가 큰 액적 등이 기체흐름 등에 동반되어 흐를 경우에는 배관 등의 기계적 손상을 일으킬 수 있고 미 연소된 액적 등은 불이 붙은 상태로 플레어시스템 상부에서 지표면 등으로 떨어질 수 있다. 따라서, 녹아웃드럼을 통해 기체흐름에 동반되는 일정크기 이상의 액적을 분리하여 기계적 손상 및 버닝레인 현상을 방지하여야 한다.

### 5.1 버닝레인 현상

- (1) 액체방울이 불완전 연소상태로 버너 팁에서 배출되면 불이 붙은 상태로 지표면 등으로 떨어지는 버닝레인 현상이 발생할 수 있다.
- (2) 직경이 1,000  $\mu\text{m}$ 를 초과하는 액적은 플레어시스템의 형태에 관계없이 버닝레인 현상을 일으킬 수 있다.
- (3) 특정 플레어시스템에서는 액적의 직경이 작더라도 버닝레인 현상이 발생될 수 있다.

### 5.2 액적 크기 기준

- (1) 보통 직경 300~600  $\mu\text{m}$  크기의 액체방울이 녹아웃드럼에서 분리된다.
- (2) 직경이 600  $\mu\text{m}$  보다 더 큰 액적은 심한 연기를 내뿜는 불완전한 연소 및 버닝레인 현상을 발생시킬 수 있다.

## 6. 녹아웃드럼의 크기 결정

효과적인 기/액 분리를 위한 녹아웃드럼의 크기는 다음의 절차에 따라 결정한다.

### 6.1 기/액 분리에 필요한 드럼크기 설계

액체 방울은 아래의 2가지 조건에서 기체흐름으로부터 분리된다.

(1) 증기 혹은 가스의 체류시간이 액체방울이 수직으로 강하하는데 걸리는 시간보다 같거나 큰 경우

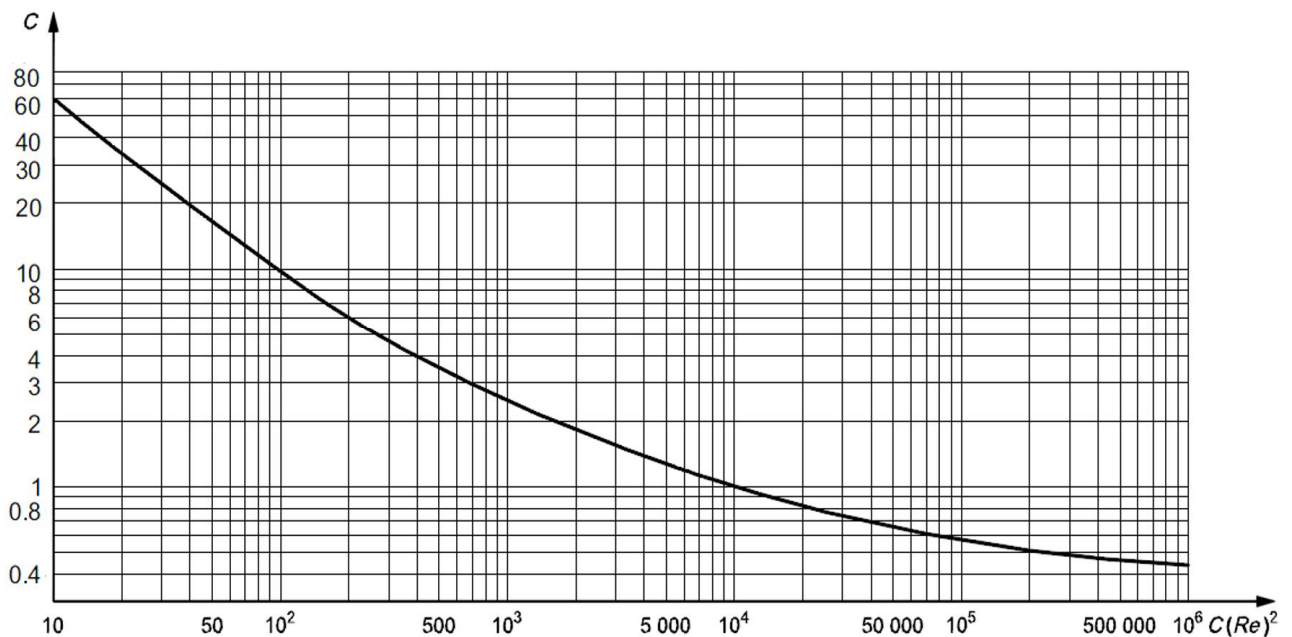
(2) 가스의 속도가 액체방울이 떨어질 시간을 확보할 수 있을 만큼 충분히 낮은 경우

직경 300~600  $\mu\text{m}$ 의 액체방울이 녹아웃드럼에서 수직으로 떨어져 기/액이 분리되는 액체방울의 강하속도( $u_c$ )는 다음과 같이 산출한다.

$$U_c = 1.15 \sqrt{\frac{g \times D(\rho_L - \rho_V)}{\rho_V \times C}} \text{-----(1)}$$

여기서  $U_c$  : 강하속도(m/s)  
 $g$  : 중력가속도( $9.8 \text{ m/s}^2$ )  
 $D$  : 액체방울의 지름(m)  
 $\rho_L$  : 액체밀도( $\text{kg/m}^3$ )  
 $\rho_V$  : 기체밀도( $\text{kg/m}^3$ )  
 $C$  : 강하상수

강하상수( $C$ ) 값은 다음 <그림 1>에서  $C(Re)^2$ 을 산출하여 구할 수 있다.



<그림 1> 강하상수, C 결정

$$C(Re)^2 = \frac{0.13 \times 10^8 \rho_V D^3 (\rho_L - \rho_V)}{\mu^2} \text{-----}(2)$$

여기서  $\mu$  : 강하속도(m/s)  
 $D$  : 액체방울의 지름(m)  
 $\rho_L$  : 액체밀도(kg/m<sup>3</sup>)  
 $\rho_V$  : 기체밀도(kg/m<sup>3</sup>)

(3) 용량 산정의 자세한 산출방법은 부록(예)의 절차를 따른다.

## 6.2 녹아웃드럼 체류액체의 고려사항

- (1) 녹아웃드럼 내 체류한 액체의 발생원은 증기 배출 시 분리되는 응축수 또는 증기 배출에 동반되는 액체의 흐름 등이다.
- (2) 녹아웃드럼 내 액체의 체류 용량은 비상상황 시 방출될 수 있는 액체의 양을 고려하여 결정하되, 설정 액위를 초과하지 않도록 한다.
- (3) 녹아웃드럼 내 액체의 체류시간은 기본 20~30분이며 방출 흐름이 더 지속될 수 있는 경우는 체류시간을 더욱 늘려야 한다.
- (4) 탱크 하부에 체류하여 펌프로 이송할 수 없는 경우를 고려해야 하며 액체 층의 높이가 최대 높이를 초과하면, 이송 펌프 등이 자동으로 작동되어 별도의 처리 공간으로 이송되어야 한다.

## 7. 녹아웃드럼의 설치시 고려사항

### 7.1 일반사항

- (1) 녹아웃드럼에서 회수된 액체는 공정으로 되돌려 보내지거나 증발 또는 기화시킨 후 플레어스택으로 보내진다.
- (2) 녹아웃드럼은 플레어스택 또는 액체 밀봉드럼 전단에 설치한다.

- (3) 녹아웃드럼은 버너팁 부분에서 폭발이 발생하거나, 불꽃의 꺼짐 또는 불꽃 튀김 현상이 유발되지 않도록 설계하여야 한다.
- (4) 녹아웃드럼에는 고점도의 액체가 그 상태로 배수 또는 이송되는 것을 방지하기 위하여 스팀코일, 자켓 또는 기타 가열장치를 설치하여야 한다.
- (5) 수분이 함유된 유체의 경우 추운 날씨에 동결될 수 있으므로 이의 방지를 위한 수단을 고려하여야 한다.
- (6) 모든 화학물질은 외부 열원에 의해 반응성을 가질 수 있으므로 특히 유의하여야 한다.
- (7) 녹아웃드럼과 연결된 플레어헤더는 경사지게 하여 중력에 의해 자연스럽게 흘러 들어갈 수 있도록 설치한다.
- (8) 녹아웃드럼을 지나 플레어스택으로 연결된 플레어헤더 내에서 정체된 가스흐름의 추가적 응축에 대비하여 녹아웃드럼과 플레어스택과의 거리는 짧게 설치한다.

## 7.2 중간 녹아웃드럼 설치기준

### 7.2.1 중간 녹아웃드럼 설치의 필요성

아래의 각 호와 같은 현상이 발생하는 경우에는 안전밸브 후단과 주(Main) 녹아웃드럼 사이에 중간 녹아웃드럼을 설치할 수 있다.

- (1) 플레어헤더로 대량의 액체를 방출하는 장치 또는 단위 공정이 존재할 경우
- (2) 주 녹아웃드럼과 플레어스택 간 거리가 멀어서 안전밸브 등으로부터 방출된 증기가 응축 혹은 액체 방울의 뭉침 현상에 의해 액체방울 크기가 커지는 경우
- (3) 매우 낮은 온도의 방출물이 플레어헤더를 통과하면서 헤더 내부에서 체류하고 있는 증기를 순간적으로 응축시키는 경우

### 7.2.2 중간 녹아웃드럼 설치기준



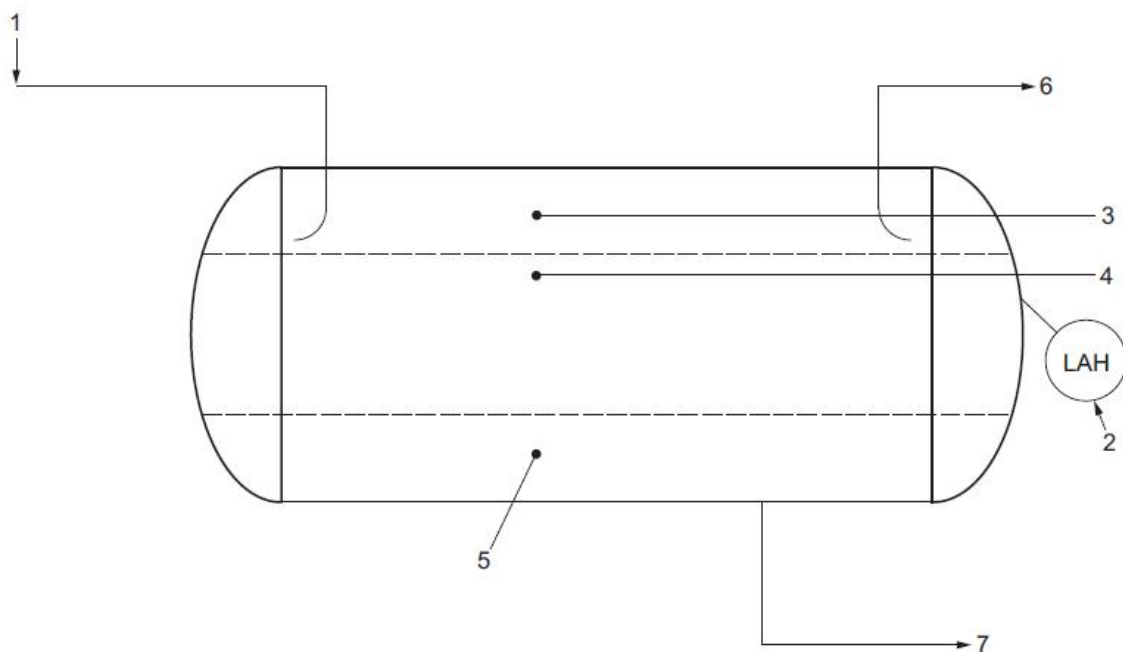
- (1) 대량의 액체 방출물이 발생하는 공정에서는 안전밸브 후단과 근접한 위치에 중간 녹아웃드럼을 설치하는 것을 고려하여야 한다.
- (2) 공정과 플레어스택 간의 거리가 멀어서 배출되는 증기가 대량으로 응축되는 경우에는 그 사이에 중간 녹아웃드럼을 설치하는 것을 고려하여야 한다.
- (3) 주 녹아웃 드럼과 플레어스택간의 거리가 멀고 배관 내에 고온의 증기가 일정시간 체류하면서 대기와의 온도차 등으로 인해 대량으로 응축되는 경우에는 그 사이에 중간 녹아웃드럼을 설치하는 것을 고려하여야 한다.
- (4) 액체의 전체 체류용량은 중간 녹아웃드럼과 주 녹아웃드럼의 용량을 합하여 계산할 수 있다. 즉, 요구되는 액체 체류 시간(20-30분)이 부족한 경우는 전단의 중간 녹아웃드럼에서 그 용량을 충족시킬 수 있다.

[부록1-예]

## 수평 녹아웃드럼의 용량 산정 예시

안전밸브에서  $25.2 \text{ kg/s}$ 의 속도로 30분 동안 분출되는 플레어가스가 녹아웃드럼으로 들어오고 있다. 이 때 액체의 밀도는  $496.6 \text{ kg/m}^3$  이고 기체의 밀도는  $2.9 \text{ kg/m}^3$ 이다. 플레어가스의 게이지 압( $P_{gauge}$ ) =  $0.014 \text{ MPa}\cdot\text{G}$ , 온도( $T$ ) =  $149 \text{ }^\circ\text{C}$ , 점도( $\mu$ ) =  $0.01 \text{ cP}$ 이다. 액체 유량이  $3.9 \text{ kg/s}$ 이고 증기 유량이  $21.3 \text{ kg/s}$  일 때 유체는 평형을 이룬다.

공정시스템으로부터  $1.89 \text{ m}^3$ 의 액체가 방출되어 녹아웃 드럼으로 들어오고 있다. 그림C.7의 그림이 기본으로 적용된다. 액적의 직경은  $300 \text{ }\mu\text{m}$ 이다. 증기흐름의 속도를  $R_V \text{ m}^3/\text{s}$ 라고 하고 아래의 과정을 거친다.



&lt;그림 2&gt; 플레어 녹아웃드럼

- 여기서 1 : 안전밸브 등에서 방출되는 방출물의 압력  
 2 : 방출되는 액체가 규정된 부피를 가득 채울 때의 높이  
 3 : 액체가 떨어질 때의 최대의 증기 공간  
 4 : 안전밸브나 다른 긴급 상황에서 방출되는 액체의 체류 공간  
 5 : 방출 및 배수되는 액체  
 6 : 플레어스택으로 향하는 흐름  
 7 : 펌프를 통해 이송되는 방출 흐름

(1) 증기 부피 유속,  $R_V$  계산

$$R_V = \frac{21.3}{2.9} = 7.34 \text{ m}^3/s$$

(2) 강하속도,  $U_c$  계산

식 (1)로부터

$$U_c = 1.15 \sqrt{\frac{g \cdot D(\rho_L - \rho_V)}{\rho_V \cdot C}}$$

$$U_c = 1.15 \left[ \frac{(9.8)(300 \times 10^{-6})(496.6 - 2.9)}{(1.3)(2.9)} \right]^{0.5} = 0.71 \text{ m/s}$$

(3) 강하상수,  $C$  결정

식 (2)로부터

$$C(Re)^2 = \frac{0.13 \times 10^8 \rho_V D^3 (\rho_L - \rho_V)}{\mu^2}$$

$$C(Re)^2 = \frac{0.13 \times 10^8 \times 2.9 \times (0.0003)^3 \times (496.6 - 2.9)}{(0.01)^2} = 5025 \text{ 일 때,}$$

식 (2)에서 계산한  $C(Re)^2$ 를 이용하여 <그림 1>에서  $C$ 를 결정한다.

$$C = 1.3$$

(4) 녹아웃드럼의 액체 체류량,  $V_L$  계산

계산의 간편함을 위해 헤더에서의 부피는 무시한다.

$$V_L = V_{L1} + V_{L2} \times \frac{30 \text{ min}}{60 \text{ min/hr}}$$

$$V_L = (1.89) + \left( \frac{3.9}{496.6} \right) \times \left( \frac{60 \text{ sec}}{\text{min}} \right) \times (30 \text{ min}) = 16.026 m^3$$

여기서  $V_L$  : 녹아웃드럼의 액체 체류량( $m^3$ )

$V_{L1}$  : 설비에서 방출되는 액체량( $m^3$ )

$V_{L2}$  : 안전밸브 등의 방출물에 포함되어 있는 액체량( $m^3/hr$ )

(5) 녹아웃드럼의 직경( $D$ )와 길이( $L$ ) 가정

(6) 녹아웃드럼의 횡단면적,  $A_T$  계산

$$A_T = \frac{\pi D^2}{4}$$

(7) 액체가 차지하고 있는 횡단면적,  $A_L$  계산

$$A_L = \frac{V_L}{L} = \frac{16.026}{L}$$

(8) 기체가 흐를 수 있는 횡단면적,  $A_V$  계산

$$A_V = A_T - \frac{16.026}{L}$$

(9) 기체 공간의 수직 높이,  $h_V$  계산

녹아웃드럼의 지름  $h_t = h_L + h_V$  으로 계산할 수 있다.

\* 페리 핸드북 등을 이용하여 산정 ( $A_T$ ,  $A_L$ ,  $A_V$ 의 면적과 수직높이  $h_T$ ,  $h_L$  및  $h_V$  관계)

액체와 증기가 차지하는 공간의 수직높이는 일반적인 기하학적 구조를 사용하여 결정하고, 드럼의 총 직경( $h_t$ )은 아래 식에 의해 계산한다.

$$h_t = h_{L1} + h_{L2} + h_V$$

$h_{L1}$  : 방출 및 배수되는 액체의 깊이

$(h_{L1} + h_{L2})$  : 축적되는 모든 액체의 깊이

$h_V$  : 증기흐름이 차지하는 수직공간의 높이

(10) 액체의 강하시간,  $\theta$  계산

$$\theta = \left( \frac{h_V}{u_c} \right) = \frac{h_V}{0.71}$$

여기서  $\theta$  : 액적 강하시간(sec)

$h_V$  : 액적의 수직 하강 높이(m)

$u_c$  : 액체 강하 속도(m/sec)

(11) 기체의 속도,  $u_V$  계산

$N$ 개의 증기 상들에 대한 속도는 단일 통과 증기 흐름에 기초하여 계산된다.  
아래 식에서 최대 배출용량 중 기체의 부피유속은  $7.34 \text{ m}^3/\text{s}$ 이다.

$$u_V = \left( \frac{7.34}{N} \right) \left( \frac{1}{A_V} \right)$$

여기서  $A_V$  : 기체의 횡단면적( $\text{m}^2$ )

$N$  : 통과하는 기체흐름의 수

$u_V$  : 기체 흐름 속도(m/sec)

(12) 녹아웃드럼의 최소길이( $L_{\min}$ )

녹아웃드럼의 최소 길이,  $L_{\min}$ 은 다음과 같이 계산한다.

$$L_{\min} = u_V \cdot \theta \cdot N$$

필요한 녹아웃드럼의 최소 길이와 가정한 녹아웃드럼의 길이를 비교한다. 이때 녹아웃드럼의 최소 길이  $L_{\min}$ 이 가정한 녹아웃드럼의 길이  $L$ 보다 작을 때는  $L$ 을 녹아웃드럼의 길이로 한다. 그러나 녹아웃드럼의 최소길이  $L_{\min}$ 이 가정한 녹아웃드럼의 길이  $L$ 보다 클 경우는 다시 안지름과 길이를 가정하여 위와 같은 계산절차를 반복한다.

<표 1> 녹아웃드럼의 최적크기

가 정 횃 수	가정한 녹아웃드럼		횡단면적 ( $m^3$ )			수직높이 ( $m$ )			액체 강하 시간 (초)	기체 속도 (m/sec)	드럼의 최소 길이 (m)
	지름 (m)	길이 (m)	$A_T$	$A_L$	$A_V$	$h_t$	$h_L$	$h_V$			
1	2.44	5.79	4.67	2.78	1.89	2.44	1.4	1.04	1.46	3.9	5.7
2	2.29	6.25	4.10	2.57	1.53	2.29	1.37	0.92	1.30	4.8	6.2
3	2.13	6.86	3.57	2.35	1.22	2.13	1.33	0.8	1.13	6.0	6.8
4	1.98	7.62	3.08	2.11	0.97	1.98	1.27	0.7	0.99	7.6	7.5

[부록2-예]

## 수직 녹아웃드럼의 용량 산정 예시

수직의 용기가 고려된다면, 증기속도는 0.71 m/s로 액체 강하속도와 동일하다. 부피 유속은  $7.34 \text{ m}^3/\text{s}$  이다. 요구되는 드럼의 횡단면적( $A_{cs}$ ,  $\text{m}^2$ )은 아래 식에 의해 결정된다.

(1) 증기속도( $u_v$ )

증기속도 = 액적 강하 속도  $u_c = 0.71 \text{ m/s}$

(2) 드럼의 단면적

$$A_{cs} = \frac{R_v}{u_v}$$

$$= \frac{7.34}{0.71} = 10.3 \text{ m}^2$$

(3) 드럼 직경( $D$ )

$$D = \sqrt{\frac{A_{cs}}{\pi/4}}$$

$$= \sqrt{10.3 \times \frac{4}{\pi}} = 3.6 \text{ m}$$