

바니쉬乾燥爐의 設計 및 運轉을 爲한 基礎 計算

解 說
15-4-1

鄭 雲 璿* · 鮮 干 學 永** · 朴 仁 鏞***

1. 緒 言

바니쉬乾燥爐의 事故防止規定은 乾燥爐內 바니쉬溶媒의 증기농도를 항상 폭발한계點 以下에 있도록 유지하면 폭발事故를 防止할 수 있다는 생각에서 연유된다.

이 目的을 爲해서 수많은 實驗과 科學的인 研究를 토대로 하여 다음의 計算基礎가 세워졌다.

지금까지는 赤外線加熱의 室爐¹⁾에까지는 試圖가 미치지 못했다. 따라서 赤外線으로 加熱되는 室爐에 對해서는 計算基礎가 세워질 수 없었다. 단지 赤外線으로 加熱되는 室爐에서는 本質的으로 多量의 空氣가 必要하다고 말할 수 있다. 즉 赤外線室爐에서는 溶媒가 더 빨리 증발하므로 주어진 一定한 空氣量에 對해서 종래의, 즉 여기에 計算된 爐보다는 許容될 수 있는 바니쉬량이 적다고 말할 수 있다.

貫通爐²⁾에 對해서는 赤外線加熱爐의 計算이 可能하다
 註 1) 室爐 : 密閉된 乾燥爐를 말한다.

이 室爐에는 2種의 室爐가 있을 수 있다. 즉 하나는 全히 通風이 되지않는 室爐이고 다른 하나는 爐內의 空氣를 循環시키는 裝置와 自然 또는 人工的인 通風裝置가 되어 있는 爐이다.

註 2) 貫通爐 : 兩端이 完全히 開放된 爐를 말한다. 즉 큰배어 등이 貫通할 수 있는 구조의 것으로서 內部的 空氣를 循環시키는 裝置 및 通風시키는 裝置를 가지고 있는 爐를 말한다.

2. 赤外線加熱以外的 室爐

一連의 바니쉬溶媒증기의 폭발 下部정계點은 0.88~2.76 Vol%이다. 故로 限度를 넘지않는 最高의 증기농도는 0.8 Vol%라고 할 수 있다.

먼저 바니쉬의 溶媒含有量을 決定한다.

溶媒含有量이란 준비된 바니쉬中에 포함된 不揮發分以外的 全種揮發物質含有量을 말한다. 이 溶媒含有量은 20~70%의 濃은 범위로서 바니쉬를 증발시켜서 確認한다. 또 이 實驗이 不可能할 때에는 바니쉬 공급자에 對문의해서 알아야 한다.

다음에 乾燥爐內에 들어온 溶媒의 量을 決定한다. 이 量은 바니쉬의 粘度 및 被乾燥物의 形態에 따라 달라지므로 이를 고려해서 決定한다.

被乾燥物과 함께 爐內에 들어오는 溶媒의 量을 決定하는 方法의 一例 :

먼저 바니쉬處理해서 乾燥할 加工品(例를들면 電動機의 固定子)과 비슷한 구조의 見本을 만들어서 重量을 測定한다. 다음에 이것을 加工品을 處理하는 方法과 똑같은 方法으로 處理한 後 다시 重量을 測定한다. 이 두 重量值의 差이는 使用된 바니쉬의 量이고 여기서 다시 溶媒만의 重量을 求한다.

이 溶媒의 量을 單位面積 또는 單位體積當의 重量으로 計算해서 加工品の 表面積 또는 全體積으로 곱하면 使用된 바니쉬溶媒量이 決定된다. 단 面積單位로 하는지 體積單位로 하는지는 加工品の 구조에 따라 決定한다.

加工品을 바니쉬處理한後 乾燥爐에 넣을 때까지 時間이 걸릴때에는 이 사이에 溶媒의 一部가 증발한다. 이 증발상실 되는 溶媒의 量도 實驗을 통해서 決定할 수 있다. 즉 處理된 見本을 지체되는 時間과 같은 期間동안 空氣中에 放置한 後에 重量을 測定해서 放置하기 前의 重量을 빼면 증발상실된 溶媒量이 決定된다. 이 量도 面積當 또는 體積當의 重量으로 計算해서 加工品の 全表面積 또는 全體積을 곱한다.

乾燥爐에 넣게되는 즉 爐內에서 증발되는 溶媒量은 이 증발상실되는 量을 빼것이 된다.

이 爐內에서 증발되는 溶媒量도 實驗에 依해서 求할 수 있다. 즉 見本을 지체되는 時間만큼 空氣中에 放置한後 重量을 測定하고 다시 加工品을 乾燥할 때와 同一한 條件下에서 乾燥한後 重量을 測定한다. 이 두 重量의 差異를 單位面積 또는 單位體積當 重量으로 計算해서 加工品の 全表面積 또는 全體積을 곱하면 爐內에서 증발되는 溶媒量이 計算된다.

이 計算을 하기 爲해서 알아야 할 全溶媒가 증발하는데 必要한 時間을 t_0 라하고 全乾燥過程中 증발速度가 一定하다고 가정하면 t_0 는 空氣循環室爐의 曲線을 나타내는式 $t_0 \times T = 155$ 로부터 求해진다. 즉

$$\text{空氣循環室爐에서 } t_0 = \frac{155}{T} \quad (\text{min})$$

단 T 는 乾燥溫度 °C.

空氣循環 또는 換氣裝置가 없는 密閉된 室爐에서는 乾燥溫度에 關係없이 $t_0 = 1$ (min)

* ** *** 韓水工業株式會社

로 定해진다.

바니쉬의 溶媒로 使用되는 物質의 平均分子量은 60~150으로써 正確한 規定은 大개 不可能하므로 平均値 100으로 보고 計算한다.

以下 各式에 使用되는 文字들을 다음과 같이 定한다.

Dt (l) Liter 로 表示한 爐內에 넣은 溶媒의 全증기量
Gt (g) Gramm 으로 表示된 爐內에 넣은 溶媒의 全증기量.

M (g) Gramm 으로 表示된 溶媒의 平均分子量.

T (°C) 最高 乾燥溫度.

V₀ (l) 全증기의 體積. 이것은 普通爐의 內部體積을 말하는 것이나 被乾燥物 및 이것과 함께 爐에 넣게 되는 物體(例를 들면 運搬車等)의 全體積이 爐의 內部體積의 10%를 초과할때에는 이를 빼어야 한다. 또 空氣循環裝置가 없는 [爐에서는 有效體積만을 말한다.

Ct (l/l) 空氣를 換氣시키지 않고 全溶媒를 증발시킨 後 全증기의 體積에 對한 溶媒증기體積의 比.

Ce (l/l) 溶媒증기의 最高許容密度.

t₀ (min) 처음의 증발速度가 全乾燥過程中 變하지 않고 一定하다는 가정下에 全溶媒가 증발하는데 所要되는 時間.

t_w (min) 全증기體積을 새 空氣로 바꾸는데 所要되는 時間.

L (l/mn) 每分 새 空氣 공급量.

Gramm 溶媒(Gt)를 Liter 증기(Dt)로 換算하는式.

$$(1) D_t = \frac{273+T}{12.2 \times M} \times G_t \quad l$$

이式의 12.2 라는 數의 單位는 °K/l이다.

$$(2) C_t = \frac{D_t}{V_0}$$

(3) $\frac{C_e}{C_t}$ 에 對한 $\frac{t_0}{t_w}$ 는 그림 (1)의 曲線에서 求한다
空氣循環室爐에서 每分 一定量의 새 空氣를 공급해서 全증기를 換氣시키는데 所要되는 時間은

$$(4) t_w = \frac{V_0}{L}$$

여기서 새 空氣量 L은 溫度 T와 關聯해서 決定해야 한다. 이 L을 溫定할 때는 乾燥爐의 排氣端에서 排氣量을 測定한다. 爐를 始動한後 처음 5分間은 主로 증발時間이므로 이 期間동안은 乾燥爐 排氣管의 排氣 Valve를 全開하여야 한다.

空氣循環 및 人工的 또는 自然 換氣裝置가 있는 室爐에서는 이 t_w를 式 (4)에 依해서 求하지 않고

$$(5) t_w = \frac{80}{T}$$

로서 求한다.

計算例 1

空氣循環 및 換氣裝置가 있는 室爐에서 所要되는 새 空氣量.

空氣循環 및 換氣裝置가 있는 乾燥爐에 바니쉬 處理된 物體를 넣고 乾燥한다. 爐內部의 有效體積이 10.6m²라고 할때 溶媒증기의 농도를 許容値以下로 제한하는데 必要한 새 空氣量은 每分 얼마인가?

$$\text{條件 } V_0 = 10.6 \text{ m}^3 = 10600 \text{ l}$$

$$T = 160^\circ \text{ C}$$

$$C_e = 0.8 \text{ Vol\%} = 0.008 \text{ l/l}$$

$$\text{가정 } M = 100 \text{ g}$$

이 外에 주어진 條件들로부터 爐內에 넣은 溶媒만의 全증기量을 計算한 結果

$$G_t = 420 \text{ gr}$$

이 나왔다.

그러면

$$t_0 = \frac{155}{T} = \frac{155}{160} = 0.97 \text{ min.}$$

또 式 (1)에서

$$D_t = \frac{273+T}{12.2 \times M} \times G_t = \frac{273+160}{12.2 \times 100} \times 420 = 149 \text{ l}$$

이것을 式 (2)에 代入해서

$$C_t = \frac{D_t}{V_0} = \frac{149}{10600} = 0.014 \text{ l/l}$$

C_e = 0.008 l/l 이므로

$$\frac{C_e}{C_t} = \frac{0.008}{0.014} = 0.572$$

그림 (1)의 曲線에서

$$\frac{t_0}{t_w} = 0.34$$

t₀ = 0.97 이므로

$$t_w = \frac{0.97}{0.34} = 2.86 \text{ min.}$$

따라서 每分 所要되는 새 空氣量은 式 (4)에 依해서

$$L = \frac{V_0}{t_w} = \frac{10600}{2.86} = 3700 \text{ l/min} = 3.7 \text{ m}^3/\text{min}$$

즉 主로 증발時間인 처음 5分동안은 每分 3.7m³의 排氣가 爐의 排氣管을 통해서 爐밖으로 흘러 나가야 된다 그러면 自然히 같은 量의 새 空氣가 爐안으로 흘러들어 오게 된다.

計算例 2

空氣循環 및 換氣裝置가 되어있는 爐에 한번 作業에 넣을 수 있는 許容된 바니쉬量의 計算.

全증기 體積이 10.6 m³이고 空氣循環 및 換氣裝置가 있는 乾燥爐에서 바니쉬 處理된 物體들을 乾燥시킨다. 乾燥爐內에 許容된 증기농도가 最高 0.8 Vol%라고 하면 한번에 넣을 수 있는 바니쉬量은 몇 gramm 인가?

條件 $V_0=10.6\text{ m}^3=10600\text{ l}$

$T=130^\circ\text{C}$

$C_e=0.8\text{ Vol}\%=0.008\text{ l/l}$

가정 $M=100\text{ g}$

이외에 주어진 條件들로부터 다음의 量들이 計算되었다.

바니쉬中の 溶媒量=60%

도중에 증발하는量=40%

새空氣 공급量=6930 l/min

여기서 새空氣의 공급量은 爐의 排氣端에서 測定하거나 爐製造者에게 문의해서 알아야 한다.

$T=130^\circ\text{C}$ 이므로

$$t_o = \frac{155}{d} = \frac{155}{130} = 1.19\text{ min.}$$

또 式 (4)에서

$$t_w = \frac{V_0}{L} = \frac{10600}{6930} = 1.53\text{ min.}$$

따라서

$$\frac{t_o}{t_w} = \frac{1.19}{1.53} = 0.78$$

그림 (1)의 曲線에서

$$\frac{C_e}{C_t} = 0.42$$

故로

$$C_t = \frac{0.008}{0.42} = 0.019$$

이것을 式 (2)에 代入해서

$$D_t = V_0 \cdot C_t = 10600 \times 0.019 = 201\text{ l}$$

式 (1)에 依해서

$$G_t = \frac{12.2M}{273+T} \times D_t = \frac{12.2 \times 100}{273+130} \times 201 = 610\text{ g}$$

溶媒의 40%가 도중에 증발되므로 乾燥할 物體에 處理된 바니쉬中の 溶媒量은

$$\frac{610}{0.6} = 1010\text{ g}$$

바니쉬中の 溶媒含有量은 60%이므로 物體에 處理할 수 있는 바니쉬量은

$$\frac{1010}{0.6} = 1690\text{ gramm}$$

計算例 3

空氣循環 또는 換氣裝置가 없는 乾燥爐의 內部體積計算.

密閉된 室爐에서 310 gramm의 바니쉬를 最高溫度 135°C 로 乾燥하려고 한다. 爐의 內部體積은 적어도 얼마나 되어야 하나?

條件 바니쉬量 310 g

$T=135^\circ\text{C}$

$C_e=0.8\text{ Vol}\%=0.008\text{ l/l}$

가정 $M=100\text{ g}$

이외에 주어진 條件들로부터 다음의 量들이 計算되었다.

바니쉬中の 溶媒量=50%

도중에 증발하는量=30%

먼저 爐內에 넣게되는 溶媒의 量은

$$G_t = 310 \times 0.5 \times 0.7 = 108.5\text{ g}$$

式 (1)에 依해서

$$D_t = \frac{273+T}{12.2 \times M} \times G_t = \frac{408 \times 108.5}{12.2 \times 100} = 36.3\text{ l}$$

空氣循環 및 換氣裝置가 없는 密閉된 室爐에서는 乾燥溫度에 前係없이 $t_o=1$ 分이고 또 式 (5)에 따라

$$t_w = \frac{80}{T} = \frac{80}{135} = 0.59\text{ 이므로}$$

$$\frac{t_o}{t_w} = \frac{1}{0.59} = 1.69$$

따라서 그림 (1)의 曲線에서

$$\frac{C_e}{C_t} = 0.28$$

$C_e=0.008$ 이므로

$$C_t = \frac{0.008}{0.28} = 0.0286$$

式 (2)에 依해서

$$V_0 = \frac{D_t}{C_t} = \frac{36.3}{0.0286} = 1269.2\text{ l}$$

즉 爐의 內部有效體積은 적어도 1.3 m^3 이어야 한다.

計算例 4

空氣循環 및 換氣裝置가 없는 室爐에 一回 乾燥作業에 넣을 수 있는 許容 바니쉬量의 計算

乾燥爐內부의 有效體積(二全 증기體積)이 1 m^3 인 室爐에서 바니쉬處理된 物品을 乾燥한다. 溶媒증기의 最高 許容密度 $0.8\text{ Vol}\%$ 를 초과하지 않고 乾燥시킬 수 있는 바니쉬量은 몇 gramm 인가?

條件 $V_0=1\text{ m}^3=1000\text{ l}$

$T=135^\circ\text{C}$

$C_e=0.8\text{ Vol}\%=0.008\text{ l/l}$

가정 $M=100\text{ g}$

이외에 주어진 條件들로부터 다음의 量들이 計算되었다.

바니쉬中の 溶媒量=50%

도중에 증발하는量=30%

例 3에서와 마찬가지로 $t_o=1$ 分이고

$$t_w = \frac{80}{T} = \frac{80}{135} = 0.59\text{ min 이므로}$$

$$\frac{t_o}{t_w} = \frac{1}{0.59} = 1.69$$

따라서 그림 (1)의 曲線에서

$$\frac{C_e}{C_t} = 0.28$$

$C_e = 0.8 \text{ Vol\%} = 0.008 \text{ l/l}$ 이므로

$$C_t = \frac{0.008}{0.28} = 0.0286$$

式 (2)에 依해서

$$D_t = V_o \times C_t = 1000 \times 0.0286 = 28.6 \text{ l}$$

式 (1)에서

$$G_t = \frac{12.2M \times D_t}{273 + T} = \frac{12.2 \times 100 \times 28.6}{273 + 135} = 85.5 \text{ g}$$

도중에 증발하는 量이 30%이므로 乾燥할 物體에 處理된 溶媒量은

$$\frac{85.5}{0.7} = 122.14 \text{ g}$$

바니쉬中の 溶媒含有量은 50%이므로 物體의 處理할 수 있는 바니쉬의 量은

$$\frac{122.14}{0.5} = 244.3 \text{ gramm}$$

3. 赤外線加熱을 포함한 貫通爐

貫通爐에서 爐內的 溶媒증기密度를 限界值 以下로 유지하기 爲해서 공급해야할 새 空氣量을 計算하기 爲해서는 每分 爐속으로 들어오는 溶媒量의 最高值를 알아야한다. 그러므로 바니쉬處理된 物體들이 爐를 通過하는 콘베어上에 均一하게 分布되어 있지 않을 때에는 處理된 物體의 密度가 가장 높은 部分을 中心으로해서 每分 爐속으로 들어오는 溶媒量을 決定해야 한다.

爐內 溶媒증기의 許容最大密度는 마찬가지로 0.8 Vol% 이고 바니쉬中の 溶媒含有量의 決定, 또는 處理時 使用된 溶媒量에서 爐에 넣기前에 증발 되어 없어지는 溶媒量을 減 즉 爐內에서 증발되는 溶媒量을 決定하는 方法等은 室爐의 경우와 같다.

室爐에서는 爐內 溶媒증기의 密度가 時間에 따라서 0에서 始作해서 最值까지 上昇하고 다시 時間의 경과와 함께 0點으로 떨어지지만 貫通爐에서는 場所에 따라 약간의 密度差異가 있으나 處理된 物體들이 주기적으로 爐內에 들어오기 때문에 時間에 對해서는 거의 一定하다고 볼 수 있다. 따라서 貫通爐의 計算은 단순히 量의 均衡만을 고려하면 된다. 每分 공급되는 증기형태의 溶媒量과 같은 量의 排氣가 許容농도의 制限下에서 排氣管을 통해서 排氣되어야 한다. 따라서 같은 量의 새 空氣가 爐에 공급되게 되는데 이와같이 計算된 空氣 공급量은 最少限度의 量이고 실제로는 爐의 排氣管 以外の 곳으로 부터 흘러 나온 바니쉬溶媒의 증기가 근처의 作場에 축적되는 것을 피하기 爲해서 더 많은 排氣 즉 더 많은 새 空氣의 공급이 必要하게 된다.

以下 各式에 使用되는 文字들을 各各 다음과 같이 定한다.

G (g/min) 每分 爐內에 들어오는 gramm 으로 表示된 最大溶媒量

D (l/min) 每分 爐內에 들어 오는 Liter 로 表示된 溶媒증기의 最大量.

T ($^{\circ}C$) 赤外線加熱 以外の 爐에서의 乾燥溫度(爐의 入口에서 測定한다)

T_R ($^{\circ}C$) 赤外線加熱爐에서 排氣端에서 測定한 排氣溫度에 $50^{\circ}C$ 를 加算한 值.

V (m/min) 被乾燥物이 爐內를 移動하는 速度.

M (g) gramm 으로 表示된 溶媒의 平均分子量.

C_e (l/l) 溶媒증기의 許容最大密度.

L (l/min) 每分 새 空氣공급量.

먼저 每分 爐內에 들어오는 gramm 으로 表示된 最大 溶媒量을 liter 로 表示되는 증기量으로 換算한다.

$$(6) D = \frac{273 + T}{12.2M} \times G \text{ (赤外線加熱以外の 爐)}$$

$$(7) D = \frac{273 + T_R}{12.2 \times M} \times G \text{ (赤外線加熱의 爐)}$$

每分 공급되는 증기형태의 溶媒量과 같은 量의 排氣가 許容농도의 制限下에서 排氣되어야 하므로

$$(8) D = L \times C_e \text{ 또는 } L = \frac{D}{C_e}$$

計算例 5

貫通爐에 있어서 所要되는 새 空氣量의 計算.

內部空氣가 循環되고 換氣裝置가 되어 있는 貫通爐에 서 바니쉬處理된 物體들을 乾燥한다. 溶媒증기의 密度를 許容值以下로 유지하기 爲해서 供給해야할 새 空氣 量은 얼마인가?

條件 $T = 160^{\circ}C$

$V = 0.5 \text{ m/min}$

乾燥物의 길이 = 1.5 m

$C_e = 0.8 \text{ Vol\%} = 0.008 \text{ l/l}$

이외에 주어지 條件들로부터 被乾燥物에 處理된 溶媒 量을 計算한 結果 945 g이 나왔다.

가정 $M = 100 \text{ gramm}$

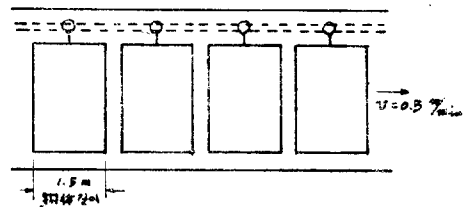


그림 1. 貫通爐

1.5 m의 物體가 $V=0.5$ m/min의 速度로 움직이므로 物體가 爐內로 完全히 들어가는 데는 $\frac{1.5}{0.5}=3$ 분이 걸린다. 즉 每分

$G=\frac{945}{3}=315$ g/min의 溶媒가 爐內에 들어오게 된다.

式 (6)에 依해서 이것을 증기량으로 換算하면

$$D=\frac{273+T}{12.2 \times M} \times G=\frac{273+160}{12.2 \times 100} \times 315=112 \text{ l/min}$$

따라서 每分 공급해야 할 새 空氣量은 式(8)에 依해서

$$L=\frac{D}{C_e}=\frac{112}{0.068}=14000 \text{ l/min}=14 \text{ m}^3/\text{min}$$

즉 每分 14 m^3 의 排氣가 排氣管을 통해서 흘러나 가야 된다.

計算例 6

赤外線加熱의 貫通爐에서 乾燥할 수 있는 바니쉬量의 計算.

바니쉬칠된 鐵板들은 赤外線加熱의 貫通爐를 利用해서 乾燥할 때 주어진 換氣條件 下에서 許容된 溶媒증기 濃도를 초과하지 않고 爐속으로 넣을수 있는 鐵板의 數量은 每分 얼마인가?

條件 $T_R=200^\circ\text{C}$ (排氣溫度 $=150^\circ\text{C}$)

$$L=5 \text{ m}^3/\text{min}=5000 \text{ l/min}$$

$$V=1.2 \text{ m/min}$$

$$C_e=0.8 \text{ Vol}\% = 0.008 \text{ l/l}$$

이외에 주어진 條件들로부터 하나의 鐵板에 칠해지는 바니쉬中 溶媒量은 30 g 이 計算되었다.

가정 $M=100$ gr

먼저 式 (8)에 依해서

$$D=L \times C_e=5000 \times 0.008=40 \text{ l/min}$$

式 (7)에 依해서

$$G=\frac{12.2 \times M}{273+T} \times D=\frac{12.2 \times 100}{273+200} \times 40=1038 \text{ g/min}$$

故로 每分 爐안으로 들어올 수 있는 鐵板의 數는

$$\frac{1038}{30}=3.5 \text{ 個이다.}$$

$V=1.2$ m/min 이므로 鐵板間의 間격은 $\frac{120}{3.5}=34$ cm

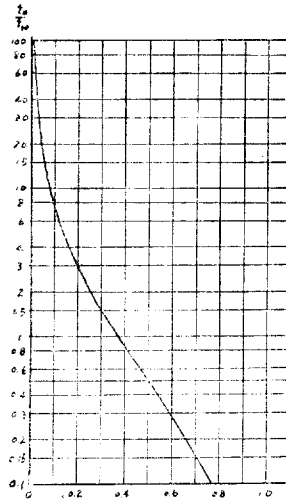


그림 2. $\frac{C_o}{C_t}$ 와 $\frac{t_o}{t_w}$ 와의 관계

이다. 즉 板들은 적어도 34cm以上 떼어서 걸어야 한다.

4. 後 記

電氣機器를 修理 또는 製作할 때에 바니쉬處理된 部品들을 乾燥하는 乾燥爐로서 여러가지 型式의 乾燥爐들이 使用된다. 이와같은 바니쉬 乾燥爐를 設計 또는 製作할 때에는 生産量을 토대로한 爐의 크기 및 乾燥溫度를 유지하기 爲한 所要熱量의 計算外에 前記한 바와 같은 爐內 바니쉬溶媒의 증기密度에 對한 點도도 必要하게 된다.

또 乾燥爐를 運轉할 때에도 爐內 바니쉬溶媒의 증기 密度를 許容值 以下로 유지해서 安全한 運轉을 도모해야 할 것이다.

參 考 文 獻

- 1) Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften Nr VBG 24 Lacktrockenofen.
- 2) Chemical Engineer's Handbook, McGraw-Hill, (1966年 11月 20日 接受)