

# 에어 커튼용 設計資料

(Design Data for Air Curtain)

F. C. Hayes W. F. Stoecker

(ASHRAE Transactions, 1969, part II)

金 英 浩 譯\*

## 1. 序 論

出入門이 連續的으로 또는 間歇的으로 열려야 할 때 에는 에어·커튼이 外界와 室內間의 熱 또는 水蒸氣의 흐름을 抑制하기 爲하여 設置된다. 이런 경우 에어·커튼의 設計者에게 直面되는 것은 다음과 같은 事項을 決定하여야 하는 일이다.

- (1) slot 幅의 決定
- (2) 吐出 空氣의 速度 또는 風量의 決定
- (3) 에어·커튼을 通過하는 暖房 또는 冷房 負荷의 計算

本論文의 目的은 에어·커튼을 實際 應用에 便利하도록 整理하는데 있으며 모든 研究資料는 非循環形 에어·커튼을 對象으로 얻은 것이다.

一般的으로 非循環形 에어·커튼은 工業用으로 使用되는 것이며 一般事務室建物에는 循環形이 使用된다. 數值的인 資料를 提示하기 前에 氣密室의 出入門에 설치한 에어·커튼의 作動特性에 對하여 說明하고자 한다.

即 방안과 外氣가 同一溫度일지라도 壓力差가 存在하며 內部와 外部空間사이의 溫度差가 顯著한 境遇 나타나는 壓力勾配에 對하여 論하겠다.

## 2. 에어·커튼의 作動機構

### 2-1 等溫特性

여기서 等溫이란 Chamber의 內部와 外部와의 溫度가 같은 境遇를 말 한다. Chamber는 에어·커튼이 設置되어 있는 出入口 以外에서는 完全히 密閉되어 있다고 假定하였다. 垂直下方 吐出型 非循環에어·커튼에 있어서는 그림 1에 表示하는 바와 같이 에어·커튼은 Chamber의 內側 또는 外側의 어느 쪽에든 設置할 수가 있으나 噴流의 中心軸은 偏向되어 그 흐름은 노즐의 吐出角度  $\alpha_o$ (그림 2-A 參照)와 空氣를 Chamber의 內側에서 얻는가 또는 外側에서 얻는가에 따라 달라

表-1 等溫度 에어·커튼의 吐出·衝突角度

$\alpha_f > 0$	에어·커튼을 外部에 設置
$\alpha_f < 0$	에어·커튼을 內部에 設置
$\alpha_o > \alpha_f$	室內壓力 < 屋外壓力(噴流軸은 屋外方向)
$\alpha_o < \alpha_f$	室內壓力 < 屋外壓力(噴流軸은 屋內方向)

진다.

그림 1-A에 表示한 바와 같이 Chamber의 外側에 設置한 垂直下方 吐出型 에어·커튼의 境遇에 있어서 噴流의 偏向은 다음과 같이 일어난다.

即 裝置의 起動時의 空氣는 처음에는 床面에서 等風量으로 나누어 진다. 最初의 噴流空氣는 外氣에서 얻지므로 室內에 흘러 들어 오는 風量은 방안에서 밖으로 나가는 空氣量보다도 많게 된다.

따라서 방안의 壓力은 上昇하기 始作하므로 噴流의 偏向이 일어 나며 床面에서의 風量은 等量으로 나누어 지게 되는 것이다. 床面に 있어서의 衝突角度  $\alpha_f$ 의 變化에 依하여 방안에서 流出된 風량이 다시 방안으로 흘러 들어 올때까지 壓力上昇은 繼續된다.

表-1에서 等溫度 에어·커튼에 대한 重要한 特徵을 說明하면 空氣의 吐出 및 衝突角度란 假定한 垂直線과 흐름의 方向이 이루는 角度를 말한다.  $\alpha_o, \alpha_f$ 의 (+)의 값은 空氣의 흐름方向이 방안의 바깥쪽으로 向했을 境遇를 말한다. 衝突角度  $\alpha_f$ 는 에어·커튼을 外部에 設置하였을 境遇를 (+), 空氣를 방안에서 取入하는 境

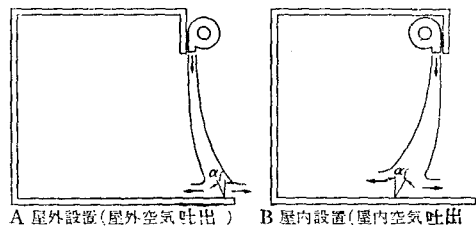


그림 1. 周圍와 同一한 溫度의 密封 Chamber에 設置된 非循環 에어·커튼

遇를 (-)로 하고 있다.  $\alpha_f$ 의 正確한 값은 門의 높이와 노즐幅과의 比에 따른다.

또한 表-1은 噴流軸의 灣曲이 吐出角度와 衝突角度의 相對的인 값에 따른다는 것을 나타내고 있다. 예를 들면 吐出角度와 衝突角度가 같다고 하면 噴流의 흐름은 直線이 되고 에어·커터튼의 兩側에 壓力差는 나타나지 않는다.

2-2 非等溫特性

그림 2는 非循環 에어·커터튼이 溫度가 서로 다른 空間을 分割할 때 일어나는 4個의 狀態를 나타내고 있다.

그림 2의 A, B는 暖房되고 있는 倉庫나 工場의 出入門 內側 및 外側에 設置되어 있는 에어·커터튼의 狀態를 나타내고 있으며

그림 2의 C, D는 冷藏庫에 設置되어 있는 狀態를 나타내고 있다. 다만 어느 境遇에 있어서나 建物は 에어·커터튼이 設置되어 있는 出入口外에는 密閉되어 있다고 假定하였다.

에어·커터튼이 溫度가 서로 다른 區域을 分割하는 境遇에 에어·커터튼의 周邊에 壓力差가 생기는 것은 煙突效果에 의한 現象이다(그림 2A).

煙突效果는 出入口 內外空氣의 密度相異때문에 일어나는 것이며 壓力은 開口部 上面에서 下面을 向하여 直線의으로 變化한다.

$$\Delta p_s = \frac{-(\rho_c - \rho_w)g(x - x_0)}{g_c} \dots \dots \dots (1)$$

- $\Delta p_s$ ; 煙突效果에 의한 水平方向壓力 lb/ft<sup>2</sup>
- $\rho_c$ ; 에어·커터튼의 低温側 空氣密度 lbm/ft<sup>3</sup>
- $\rho_w$ ; 에어·커터튼의 高温側 空氣密度 lbm/ft<sup>3</sup>
- $g$ ; 重力의 加速度 32.2ft/s<sup>2</sup>
- $g_c$ ; 重力定數 32.2ftlbm/bl, f, s<sup>2</sup>
- $x$ ; nozzle에서의 距離 ft
- $x_0$ ; nozzle에서 中性帶까지 距離 ft

距離  $x_0$ 는 주어진 방 또는 建物の 開口部の 數와 位置에 의하여 變化한다. 換言하면  $x_0$ 는 infiltration과 建物高와의 函數이다. 또한 氣密을 維持하고 唯一한 開口部를 가지고 있는 建物에 있어서 中性帶는 開口部の 上面과 下面의 中間部分에서 일어난다.

煙突效果以外에 에어·커터튼에 의하여 發生하는 補助的인 壓力差  $\Delta p_a$ 가 있다. 이 壓力差는 空氣噴流를 偏向시켜 방안에서 나뉘어 버린 空氣를 床面에서 다시 방안으로 流入시킨다.

nozzle에서 任意的 距離를 가진  $x$ 點에 있어서 그림 2의 A, B인 境遇와 같은 에어·커터튼의 壓力差는 다음과 같다.

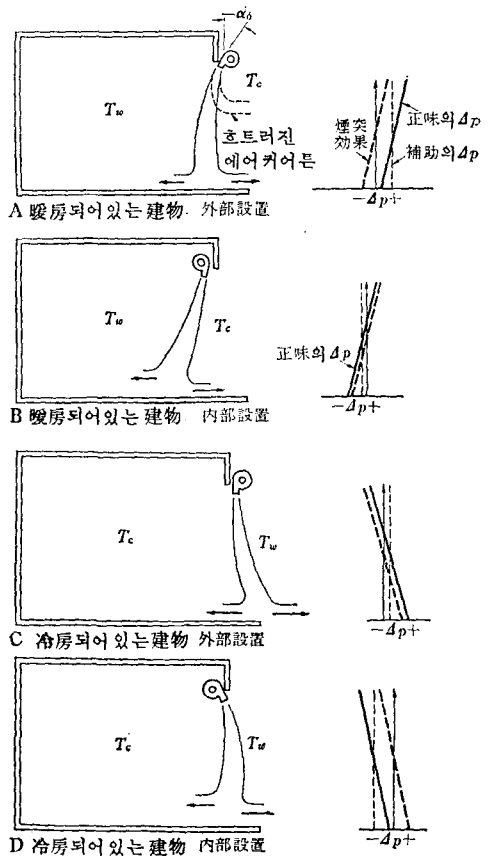


그림 2. 溫度가 相異한 區域을 區分하는 에어·커터튼

$$\Delta p = \Delta p_a + \Delta p_s = \Delta p_a - \frac{g}{g_c}(\rho_c - \rho_w)(x - x_0) \dots \dots (2)$$

非等溫인 境遇, 噴流의 偏向은 空氣密度의 差異에 의하여 생기는 壓力이 다르기 때문에 等溫인 境遇와는 다르다.

非等溫인 境遇의 噴流는 床面に 完全히 到達하지 않을 可能性이 있다. 吐出速度가 너무 낮으면 密度差에 의한 壓力差는 噴流가 床面に 닿는 것을 妨害하여 噴流가 冷溫側과 水平하게 偏向할 때까지 흔들리게 된다. 그림 2-A는 이러한 狀態를 點線으로 表示하고 있다.

冷藏庫는 문이 하나 뿐이고 잘 氣密된 建物이라고 할 때 그림 2는 이러한 狀況을 잘 表示해 주고 있다. 實際에 있어서 大概의 建物は 에어·커터튼을 設置하는데 問題가 되는 높고, 틀이 많은 構造이다. 그림 3에서는 設置狀態가 나쁜 두가지의 예를 들었다. 그림 3-A는 出入口 및 窓門이 열려 있는 建物에 있어서의 狀態인데 空氣는 열려있는 門을 통하여 建物밖으로 새어 나가므로 그만큼 量의 空氣가 에어·커터튼에 의하여 補充되어야 한다. 氣密이 維持되지 않은 建物(그림 3)의 熱移

動量은 氣密된 建物(그림 2)에서 보다 크다는 것은 明白하다.

그림 3-B는 에어·커어튼에 있어서 대단히 어려운 狀態를 表示한다. 建物高가 높고 空氣의 漏洩이 많은 建物에 있어서 煙突效果는 크고 建物の 下層部分은 負壓(-)으로 된다. 이런 境遇 空氣吐出速度를 아무리 높게 하여도 에어·커어튼은 室內側으로 噴流가 偏向하여 空氣는 建物の 上層部分에서 排出되고 만다. 그러므로 下層部分이 어느 程度의 正壓(+)이 되도록 加壓하지 않으면 이런 建物에 에어·커어튼을 使用하도록 勸奨할 수 없게 된다.

그래서 本論文에 있어서의 設計資料는 그림 2와 같이 氣密이 維持되고 있는 建物の 出入口에 非循環 에어·커어튼을 設置한 境遇에 對해서 適用된다.

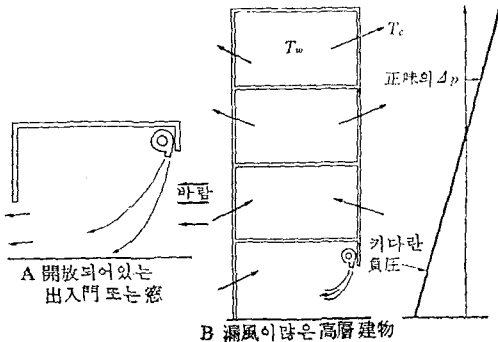


그림 3. 條件이 나쁜 建物에 設置한 에어·커어튼

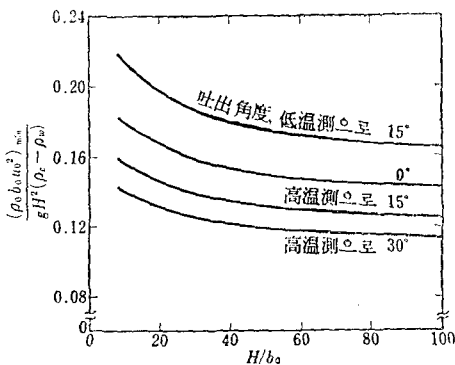


그림 4. 에어·커어튼이 破壞되지 않기 爲한 最少의 吐出 運動量

### 3. 設計資料

에어·커어튼을 設計하거나 設置하고자 할 때 適用시켜야 할 몇가지 重要한 要素는 出入口의 높이 및 溫度 差에 對한

- (1) 吐出角度  $\alpha_o$ .
- (2) slot 幅  $b_o$ .
- (3) 吐出速度  $u_o$ .

等を 決定하는 일이며 이것들이 選定된 다음 에어·커어튼을 通過하는 熱量을 計算하여야 한다. 어느 境遇에는 너무 높은 速度가 될 것을 憂慮하여 略設計의 過程에서 噴流速度를 決定하기도 한다.

#### 3-1 吐出角度

에어·커어튼은 노즐의 吐出方向을 高溫側으로 하면 바닥과의 接觸이 破壞되지 않는다. 그림 4의 曲線은 最少吐出運動量  $(\rho_o b_o u_o^2)_{min}$  을 計算하기 爲한 여러 가지 吐出角度에 對한 限界條件을 나타내고 있다. 여기에서  $\rho_o$ 는 노즐出口에 있어서의 空氣密度이다. 주어진 大氣壓에 있어서 密度는 絕對溫度에 逆比例하므로

$$\frac{(\rho_o b_o u_o^2)_{min}}{g H^2 (\rho_c - \rho_w)} = \frac{(b_o u_o^2)_{min}}{g H^2 \left( \frac{460 + T_c}{460 + T_o} - \frac{460 + T_o}{460 + T_w} \right)}$$

여기에서

$b_o$ : slot 幅 ft

$u_o$ : 吐出速度 ft/s

$H$ : 문턱의 높이 ft

$T_o$ : 노즐出口에 있어서의 空氣溫度 °F

$T_c$ : 에어·커어튼 低溫側의 空氣溫度 °F

$T_w$ : 에어·커어튼 高溫側의 空氣溫度 °F

冷藏庫에 設置되어 있는 에어·커어튼이 外氣空氣를 흡입하고 있다고 하면

$$T_o = T_w \text{ 이므로}$$

$$(b_o u_o^2)_{min} = (\text{그림 4의 縱軸}) (g H^2) \left( \frac{460 + T_w}{460 + T_c} - 1 \right)$$

그림 4는 에어·커어튼을 高溫側에 對하여 30° 傾斜 지게 하면 15°의 吐出角度를 갖는 것보다 安定된다는 것을 나타내고 있다. 그러나 吐出角度를 너무 크게 하면 噴流는 出入口의 문턱주에서 떨어지게 되어 문틀가에서 漏洩이 생기게 된다. 角度를 15°로 하면 그림 4를 參照할 必要없이 그림 5 및 6을 直接利用 할 수가 있다.

#### 3-2 slot 幅

에어·커어튼의 두께가 두꺼우면 얇은 쪽 보다 熱移動이 적다는 것은 事實이다. 그러나 倉庫 또는 工場等과 같은 産業用에 있어서는 一般的으로 製作 및 설치하기가 有利하다는 理由로 얇은 에어·커어튼이 使用된다.

여기서 概括되는 設計資料에서는 slot 幅  $b_o$ 는 任意로 選定하고 吐出速度로서 에어·커어튼의 安定性을 維持하도록 選定하고 있다.

#### 3-3 吐出速度

最低吐出速度(에어·커어튼의 安定된 境界線上에 在

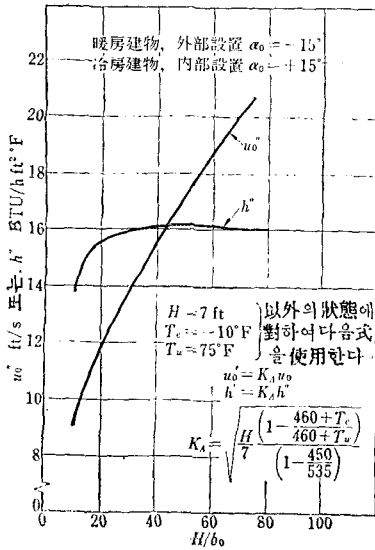


그림 5. 冷風吐出 에어·커어튼에 對한 吐出速度  $u_o''$ 와 基本熱係數  $h''$

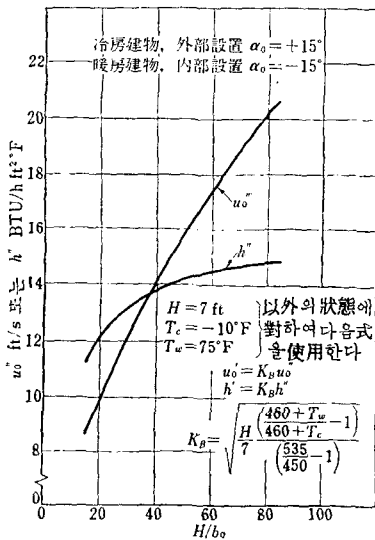


그림 6. 暖風吐出 에어·커어튼에 對한 最低吐出速度  $u_o''$ 과 基本熱係數  $h''$

는 速度)를 그림 5 및 그림 6에 表示하였다. 그림 5.6은 다 같이 문짝의 높이  $H=7ft$ , 高溫側 溫度  $T_w=75°F$ , 低溫側 溫度  $T_c=-10°F$ , 에어·커어튼 角度는 高溫側으로  $15°$ 傾斜지고 있는 特別한 狀態의 것을 適用하고 있다. 그림 5는 그림 2-A, D의 境遇와 같은 供給空氣가 차거운 때에 適用되며 그림 6은 그림 2-B, C에 表示한 바와 같은 供給空氣가 따뜻한 때에 適用된다.

그림을 利用할 때 우선 문짝의 높이와 溫度에 對한 最低速度  $u_o''$ 를 찾아내고 문짝의 높이  $7ft$ ,  $T_c=-10°F$ ,  $T_w=75°F$ 에 對하여 補正해야 한다.

(그림5)에 있어서 그 補正  $K_A$ 의 값은

$$K_A = \sqrt{\frac{H}{7} \cdot \frac{\left(1 - \frac{460 + T_c}{460 + T_w}\right)}{\left(1 - \frac{450}{535}\right)}} \dots\dots\dots(3)$$

(그림6)에 있어서 補正  $K_B$ 의 값은

$$K_B = \sqrt{\frac{H}{7} \cdot \frac{\left(\frac{460 + T_w}{460 + T_c} - 1\right)}{\left(\frac{535}{450} - 1\right)}} \dots\dots\dots(4)$$

補正  $K_A$  또는  $K_B$ 를 適用시킨 값이 求하고자 하는 문짝의 높이와 溫度에 對한 最低速度  $u_o''$ 가 된다.

$$u_o' = K_A u_o'' \text{ 또는 } u_o' = K_B u_o'' \dots\dots\dots(5)$$

$u_o'$ 는 安定성에 關한 境界線上的의 速度이므로 安全係數를 設定하여 에어·커어튼이 사람 또는 차량등의 出入에 依하여 破壞되더라도 急速하게 回復되도록 보다 높은 速度로서 決定되어야 한다.

이 安全係數를 速度係數라고 부르며 記號 F로서 表示하고 다음 式과 같다.

$$u_o = F u_o' \dots\dots\dots(6)$$

F의 크기는 될 수 있는 대로 낮게 잡으므로 安定된 에어·커어튼을 維持할 수가 있다. 왜냐하면 速度가 增加하면 熱移動量도 增加하기 때문이다.

그림 4의 縱軸에 있어서의 偏向率은 에어·커어튼의 세기는 吐出速度의 自乘에 따라서 增加함을 表示한 것이다.

예를 들면  $\sqrt{2}=1.414$ 의 速度係數를 適用하면 에어·커어튼의 세기는 2배로 할 수가 있는 것이다. 몇개의 製品을 對象으로 調査한 結果 大概의 에어·커어튼은 約 2.0의 速度係數 F를 適用시켜 設置되고 있음이 判明되었다. 그러나 에어·커어튼이 낮은 吐出速度로서도 滿足스럽게 作動된다고 여겨졌을 때는 現場에서 風量을 減少시킬 수가 있다.

3-4 에어·커어튼을 通過하는 熱移動

에어·커어튼을 通過하는 顯熱量은 다음 式에 依하여 얻을 수가 있다.

$$q \text{ BTU/Hr} = h W H (T_w - T_c) \dots\dots\dots(7)$$

여기에서

$h$ : 對流係數  $\text{BTU/h ft}^2\text{F}$

$W$ : 문짝의 幅  $\text{ft}$

문짝의 높이가  $7ft$ , 溫度가  $75°F$  및  $-10°F$  이라면 어느 쪽이 適用되더라도 (그림5) (그림6)에서 對流係數의 基本值를 알 수가 있다. 다른 높이 또는 溫度에 對

해서는 (3)식에 의한  $K_A$ , (4)식에 의한  $K_B$ 의 값을 그림에서 얻은  $h'$ 의 값에 곱하므로써 補正할 수가 있다.

$$h' = K_A h'' \text{ 또는 } h' = K_B h'' \dots\dots\dots(8)$$

마지막으로 對流係數는 速度에 近似的으로 比例하므로  $h'$ 의 값에 速度係數 F를 곱하지 않으면 안된다.

$$h = Fh' \dots\dots\dots(9)$$

그림 5 및 6에서 나타난 傳熱에 對한 資料는 에어·커어튼이 高溫測으로  $15^\circ$ 의 角度로 向하고 있는 境遇에 適用된다. 그러나 本資料를 따른 吐出角度의 것에 適用하여도 誤差는 거의 없다.  $K_A$ 와 F 또는  $K_B$ 와 F를 適用하므로써 惹起되는 速度의 修正에 의한  $h'$ 의 變化는 吐出角度의 影響을 無視해도 좋다고 본다.

#### 4. 設計例

(問) 에어·커어튼을 幅 8ft, 높이 10ft인 冷藏庫의 門扉에 設置하고자 한다. 但 內部溫度는  $-20^\circ\text{F}$ , 外部溫度는  $80^\circ\text{F}$ 이다.

(解) 冷藏庫에 對하여는 一般的으로 에어·커어튼을 外部에 설치하게 되므로 이 境遇에는 吐出角度는 高溫側을 向하여  $15^\circ$ 로서 한다. 노즐 幅  $b_o$ 를 決定하기 爲하여는 크기가 Compact 하고 熱移動을 最小로 하는 것 등을 考慮하여야 한다. 本 例題에서는  $b_o=3$  in로 하였다.

$$\frac{H}{b_o} = \frac{10\text{ft} \times 12\text{in}/\text{ft}}{3\text{in}} = 40$$

그림 6에서

$$u_o'' = 14.1 \text{ ft/s}$$

$$h_o'' = 13.8 \text{ BTU/h ft}^2\text{F}$$

例題에 있어서 門扉의 높이는 7ft가 아니고 10ft이며 高溫側과 低溫側溫度도  $75^\circ\text{F}$ 와  $-10^\circ\text{F}$ 인 그림의 境遇와는 서로 다르므로 補正하여야 한다.

$$K_B = \sqrt{\frac{10}{7} \cdot \frac{\left(\frac{540}{440} - 1\right)}{\left(\frac{535}{450} - 1\right)}} = 1.316$$

$$u_o' = 1.316 \times 14.1 = 18.55 \text{ ft/s}$$

$$h' = 1.316 \times 13.8 = 18.15 \text{ BTU/h ft}^2\text{F}$$

速度係數  $F=1.3$ 이라 하면

吐出速度와 對流係數는

$$u_o = 1.3 \times 18.55 = 24.1 \text{ ft/s}$$

$$h = 1.3 \times 18.15 = 23.5 \text{ BTU/h ft}^2\text{F}$$

顯熱의 傳熱量은

$$q = 23.5 \times 10\text{ft} \times 8\text{ft} \times (80+20) = 188000 \text{ BTU/hr}$$

顯熱의 傳熱에 따라서 潛熱도 移動하게 되므로 周圍空氣의 相對濕度를 50%, 冷藏庫內를 100%라 하면 全

熱과 顯熱의 傳熱量比는

$$\begin{aligned} \text{比} &= \frac{\text{顯熱} + \text{潛熱}}{\text{顯熱}} \\ &= \frac{\text{周圍空氣의 엔탈피} - \text{室內空氣의 엔탈피}}{\text{比熱} \times (\text{周圍空氣溫度} - \text{室溫})} \\ &= \frac{31.4 - (-4.5)}{0.24\{80 - (-20)\}} = 1.5 \end{aligned}$$

全傳熱量은  $188000 \times 1.5 = 282000 \text{ BTU/hr} = 23.5 \text{ RT}$ 이다.

Asker와 Berner (Air Entrance Units for Freezer and cooler room door ways) 등은 위와 같은 狀態에 있어서의 防護되지 않은 開口部를 通過하는 熱移動을 計算하였는데 그 量은 約  $100 \text{ RT}$ 라고 見積하였다.

어느 境遇에 있어서는 出入口를 드나드는 사람의 快感度를 考慮하여 머리 높이에서의 空氣速度를 計算하는 것이 有用할 때가 있다. 그림 7은 이러한 目的으로 使用하기 爲하여 만들어진 것이다. 床土 6ft에서 노즐에서의 距離  $x$ 는  $10-6=4\text{ft}$ 로 된다. 따라서

$$\frac{x}{b_o} = \frac{4}{3/12} = 16$$

이다.

그림 7에서  $\frac{u_m}{u_o} = 0.7$  이므로

$$u_m = 24.1 \times 0.7 = 16.9 \text{ ft/s} = 1010 \text{ ft/min}$$

이다. ( $u_m$ 은 噴流의 中心速度 ft/s)

#### 5. 設計에 對한 몇가지 助言

##### 5-1 亂噴流의 세기

에어·커어튼을 橫斷하는 熱과 水蒸氣量을 減少시키기 爲해서는 노즐出口의 亂噴流의 세기를 되도록 減少시켜야 한다. 例를 들면 노즐의 바로 앞쪽에 눈이 가는 網같은 것을 攄으므로써 多少 減少시킬 수가 있다.

實驗結果에 따르면 노즐 가까이에서의 噴流의 運動量 輸送은 網을 攄었을 때가 設置前 보다 約 30% 가량 輸送量이 增加하고 있음을 알 수 있었다. 熱 및 水蒸氣의 移動機構도 運動量輸送과 같은 法則에 依하여 支配되므로 吐出되는 噴流의 攪亂을 減少시키려면 熱 및 水蒸氣의 移動을 減少시키는 것이 重要하다.

##### 5-2 slot 幅

에어·커어튼의 두께가 大端히 두꺼울 때는 同一한 吐出運動量에 對하여 熱移動量은 最低가 된다. 그러나 두꺼운 에어·커어튼과 얇은 에어·커어튼間의 熱移動量의 差異는 10% 程度일 뿐이다.

##### 5-3 建物の 氣密과 바람의 作用

에어·커어튼은 흔들리기 쉽고 바람과 같은 커다란

壓力差에 부딪치게 되면 偏向되어 많은 風量이 에어·커튼을 뚫고 나가버리게 된다. 風壓이 걸려 있는 建物の 兩側에 設置된 에어·커튼은 많은 量의 空氣의 侵入과 排出現象을 일으킨다. 에어·커튼設置에 있어서 勸奨하고 싶은 말은 比較的 氣密이 維持되고 있는 空間에서 가장 잘 適用된다는 것이다.

이러한 狀態에서는 風壓을 받았을 때 에어·커튼은

偏流하며 室內壓力을 높여 換氣가 없어지는 程度의 空氣가 通過할 뿐이다. 일단 바람이 잔잔하게 되면 室內의 높은 壓力에 依하여 어느 程度의 空氣가 周圍에 放出하게 된다. 바람이 불 때 運轉하게 되면 에어·커튼은 呼吸動作을 일으켜 既說한 計算值를 넘어서 附加的인 熱移動을 하게 된다. 이러한 熱移動의 크기는 바람의 狀態, 溫度 및 室容積에 따라 影響을 받게 된다.