

室內空氣分布

閔 滿 基*

1. 序 論

室內的空氣分布가 複雜하고 힘든 問題라는 것은 周知의 事實이다. 暖房時 더운 空氣가 天障附近에만 모인다던지 깊은 겨울에 외풍으로 열굴이 시려워 苦痛을 겪는 일이라던지 冷房時에는 너무찬 空氣가 局部的으로 集中한다던지 하는 일을 우리는 늘 經驗하고 있다. 이처럼 冷暖房에 있어서 空氣의 送出量과 溫度 等의 容量은 充分하여 空間內的 溫도와 濕도는 願하는 平均値를 維持함에도 不拘하고 快適한 熱環境을 얻을 수 없는 것은 空氣分布가 잘 못되었기 때문이다. 따라서 空氣調和裝置의 成敗는 實上 空氣分布에 있다고 볼 수 있다.

溫風暖房, 換氣 및 空氣調和裝置에서 目的으로 하는 空氣分布란 空氣調和되는 室內的 居住領域에 있어서 空氣의 溫度, 濕度 그리고 氣流 等의 組合이 適正値를 갖도록 하여 在室者가 要求하는 快適한 熱環境의 基準과 空氣分布의 評價를 위한 空氣分布性能指標(ADPI), 그리고 3種의 給氣送出裝置의 空氣分布性能에 對한 研究事例에 對하여 言及하고자 한다.

2. 熱環境의 快適狀態基準과 空氣分布性能指標

앞서 말한 바와 같이 空氣分布의 目的은 室內에 있어서 바닥으로부터 1.8 m 높이까지의 居住領域內的 空氣의 溫度, 濕度 그리고 氣流를 適正値로 維持하는 것이다.

이 領域에서 快適한 狀態를 나타내는 基準으로서 Rydberg 와 Norback¹는 1949 年에 有效 드래프트溫度差(effective draft temperature

difference)를 提案하였다. 이것은 空氣溫度, 空氣流動, 相對濕度 그리고 人體에 對한 이들의 生理學的인 영향 등을 한꺼번에 고려한 것이다.

環境의 熱的 狀態의 立場에서, 快適狀態의 基準을 滿足하는 平均溫도와 濕도를 維持할 수 있고 이들 狀態가 空間의 어느 곳에 存在할 수 있다. 同時에 空氣溫도의 過度한 變化, 지나친 氣流, 局所的인 所要負荷에 따라 調整空氣의 適切한 分配의 不可, 그리고 이들 狀態의 時間에 따르는 變動 등 때문에 생기는 快適하지 못한 局所領域이 있을 수 있다.

드래프트(draft)란 溫도와 輻射熱을 一定하게 두었을 때 空氣流動과 空氣溫度 두가지 때문에 身體의 어느 部分에 局所的인 冷氣 또는 溫氣의 感覺을 느끼게 하는 것을 말한다. 따라서 외풍은 Cold draft 를 말한다.

위의 有效 드래프트溫度差 $\Delta\theta(^{\circ}\text{F})$ 는 局所氣流速度 $U_x(\text{fpm})$ 와 基準流 30 (fpm)의 差 그리고 어느 局所點의 溫度 $t_x(^{\circ}\text{F})$ 와 室內設計溫度 $t_c(^{\circ}\text{F})$ 의 溫度差($^{\circ}\text{F}$)로 표시된다.

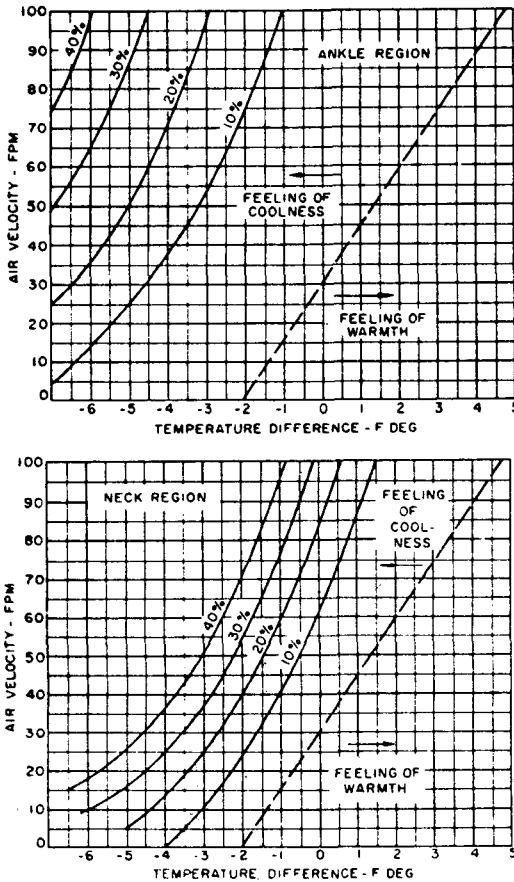
$$\Delta\theta = (t_x - t_c) - 0.07(U_x - 30) \dots \dots \dots (1)$$

위 式에서 右邊의 第二項은 空氣流動 때문에 發生하는 차거운 感觸을 나타낸다. 溫度 1 $^{\circ}\text{F}$ 의 變化는 氣流速度의 變化 15 fpm 과 맞먹는다.

이것은 그림 1에서 點線으로 表示된 中立線으로 알 수 있다. 그림 1은 Houghten²의 實驗資料로서 어느 定하여진 드래프트狀態에 對해서 非快適을 나타내는 在室者의 百分率을 統計的으로 나타낸 것이다. 위의 것은 무릎높이 그리고 아래의 것은 목높이에서의 結果다. 목높이에 對한 그림에서 1 $^{\circ}\text{F}$ 의 溫度降下에서의 15 fpm의 速度는 溫氣感을 주며 한편 40 과 60 fpm에서

* 正會員, 고려대학교

는 10% 및 20%의 在室者가 각각 快適치 못함을 보여준다. 그러나 20~40 fpm은 滿足할 만한 速度라고 볼 수 있다.



[그림 1] 在室者의 드래프트 不快呼訴百分率과 中立線

1964 年에 任意的 空氣分布裝置를 評價하는 指標로서 Miller,³ Hanni 및 Nevins는 空氣分布性能指標 ADPI (Air Distribution Performance Index)를 提案하였다. 最終的인 性能決定은 在室者의 快適性이 해주는 까닭에 ADPI는 1938 年의 Houghten,² Gutberlet 및 Witkowski 等に 依한 드래프트에 對한 主觀的인 應答과 Rydberg 및 Norback의 研究를 根據로 해서 만든 것이다.

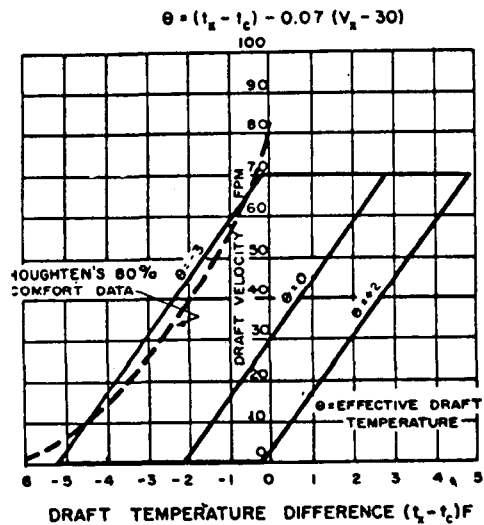
그림 2에서 굵은 實線은 有効드래프트溫度差 $\Delta\theta$ 의 값을 나타내고 있다. $\Delta\theta = -3.0^\circ\text{F}$ 인 線은 Houghten의 80% 快適資料와 잘 一致되고

있다.

Koestel⁴과 Tuve는 快適의 上限 $\theta = +2.0^\circ\text{F}$ 에서 滿足스러움을 表示하였다.

一般的으로 65 fpm 以上の 氣流에서는 드래프트의 感覺을 招來하고 15 fpm 以下の 速度에서는 空氣의 滯溜感을 일으킨다. 氣流의 流速에 있어서는 25~35 fpm이 가장 바람직스럽다.

그림 2에서 實線들이 나타내는 平行四邊形이 快適한 狀態를 나타내는 範圍 卽 快適基準이다.

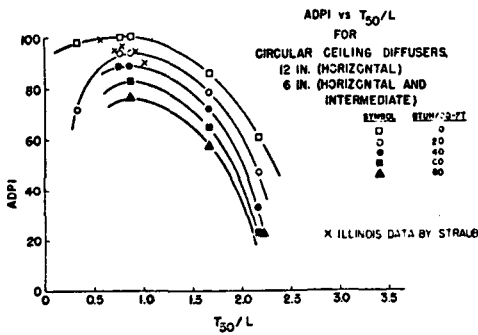


[그림 2] ADPI를 求하는데 쓰이는 快適基準

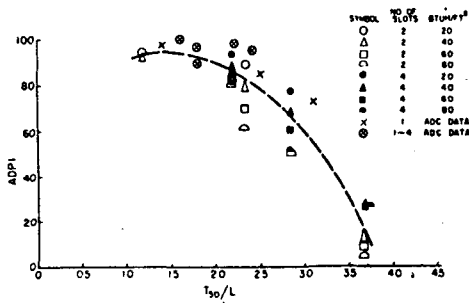
ADPI는 室內의 여러 測定點中에서 有効드래프트溫度差 $\Delta\theta$ 가 -3.0 에서 $+2.0$ 사이에 있고 氣流速度가 70 fpm 以下인 測定點數를 全體에 對한 百分率로 表示한 것으로 定義한다. Nevins⁵와 Miller의 研究에 依하면 ADPI는 送出口의 型, 室內負荷, 給氣의 流量 그리고 室內의 幾何學의 形狀의 함수임이 밝혀졌다. Miller⁶ 및 Nash는 이들의 變數를 結合하여 ADPI를 室內의 特性길이(L)에 對한 等溫噴流 throw의 比의 函數로 나타내었다.

그림 3.4.5는 圓形의 圓錐型 天障디퓨져, 四角面 多孔性 天障디퓨져 및 Slot型 디퓨져에 對한 ADPI를 나타낸 것이다.

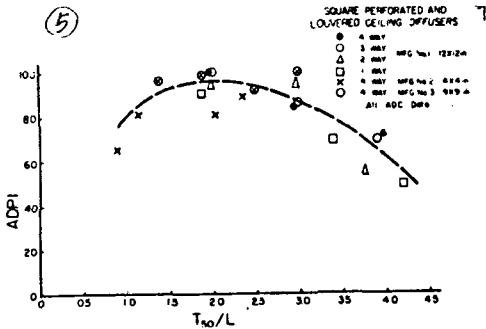
위에서 定義한 ADPI는 測定數가 너무 아



[그림 3] 圓錐型 天障디퓨저의 ADPI와 大學의 데이터와 比較함.



[그림 4] 슬롯형 디퓨저의 ADPI 對 T50/L ADC의 데이터와 比較함.



[그림 5] 四角面, 多孔 및 루우버블이 天障디퓨저의 ADPI 對 T50/L. 모두 ADC 연구소의 資料임. 室內負荷는 11 ~ 51 Btuh/ft²

實際 活用이 어려우므로 ADPI를 求하는데 必要한 經費와 努力을 줄이기 위해서 中心線 ADPI (Center-Line ADPI)를 使用한다. 여러 裝置

에 대한 實驗結果 各 裝置의 性能을 評價하는데 이 中心線 ADPI는 妥當함이 밝혀졌다. 美國의 Air Diffusion Council (ADC)에서는 試驗 規準을 改定하여 Council 會員들이 製作한 送出 裝置에 對한 中心線 ADPI 決定方法을 含包시켰다.

3. 室內空氣分布의 研究事例

1959년에 Reinmann, Koestel 및 Tuve 等은 夏季冷房 또는 等溫送出에 있어서 壁의 높은 곳에서 水平送出, 天障디퓨저, 그리고 베이스보 오드디퓨저 等の 3가지의 공기분포장치에 대한 空氣分布의 性能을 評價하였다. 3경우에 있어서 모두 室內의 氣流는 給氣量 또는 換氣量의 線型函數라는 原則이 나왔다. 작은 溫度差에 지나친 給氣量을 주는 것은 空間全體에 걸쳐 너무 높은 氣流를 일으키기 쉽고 反面에 작은 給氣量으로 低溫의 給氣를 供給하여 定하여진 冷房 負荷를 吸收시키는 것은 點冷却(Spot cooling)을 일으켜 低速氣流의 重力降下에 依한 不快感을 주는 傾向을 가졌다. 따라서 各 장치에 있어서 最適의 中間流量 및 換氣量이 있음을 보여 주었다. 換氣量(Air change)이 작을 때는 低溫 때문에 드래프트의 不快感이 增加되고, 換氣量이 많을 때는 高速 때문에 드래프트의 不快感이 增加된다. 그러나 最上의 狀態에서 조차도 恒常 滿足스러운 것은 아니었다. 그러한 많은 狀態의 變化中에서 가장 좋은 空氣순환량이 指定된다면 그것은 大略 10 乃至 12 air change per hour 일 것이다.

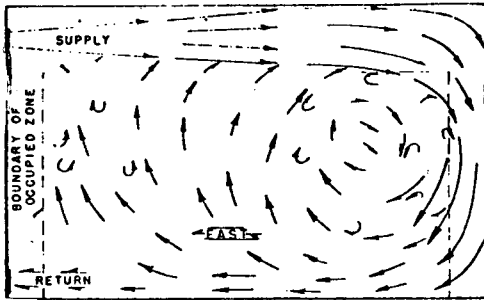
本 研究事例에서 室內空氣分布의 性能을 評價하는데 使用된 任意의 3 快適基準은 다음과 같다. 이것은 여름의 冷房에 對한 基準으로서 居住領域內에서 快適狀態를 갖는 最大의 許容限界를 나타낸다.

1. 最大 10%의 在室者가 不快感을 나타내는 有效드래프트溫度
2. 最大 50 fpm의 空氣流速
3. 最大 3°F의 居住領域內 垂直方向의

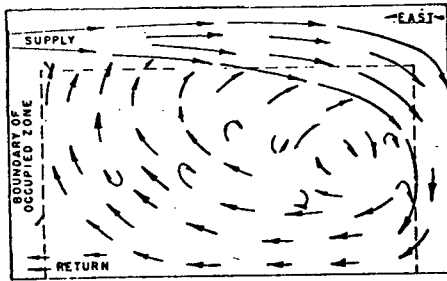
溫度差

A. 給氣送出口가 壁面 높은 곳에 있는 경우
 一般的인 空氣流動의 모양은 流量과는 無關하고 室空間과 給氣送出口의 모양에 따라 달라진다. 앞서 말한 바와 같이 強制對流의 慣性力이 溫度差에 依한 重力보다 支配的으로 클 때는 居住領域內의 循環速度는 給氣送出口의 體積流量에 比例한다. 以後의 그림은 모두 冷房時의 것이다. 그림 6 및 7은 等溫일 때와 冷却時의 正面圖로써 두 그림으로부터 찬공기에 의한 重力의 영향으로 噴流는 居住領域을 向하여 아래로

에서 확인할 수 있다. x 幅은 重力에 對한 慣性力의 比, $\text{cfm}^2/\Delta t_0$ 를 나타내고 y 幅은 給氣流量에 對한 流速의 比 V_x/CFM 이다.

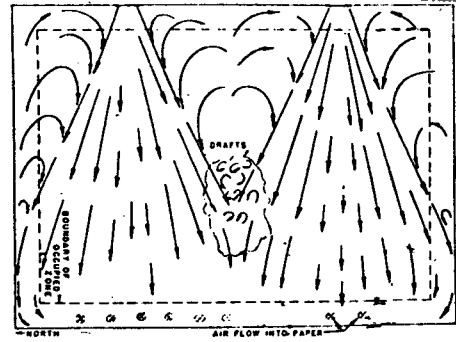


[그림 6] 正面圖(等溫時)

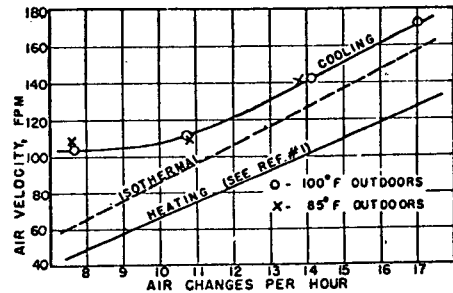


[그림 7] 正面圖(冷却時) 氣流降下를 보임.

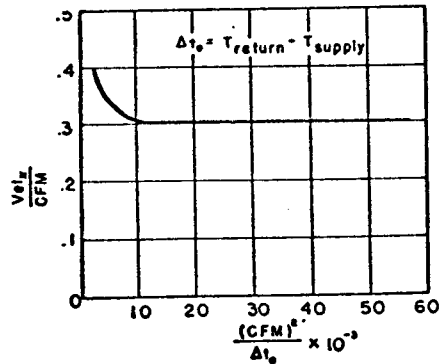
처지는 경향이 있음을 알 수 있다. 그림 8에서는 두 噴流가 交叉되는 곳에 드래프트가 形成됨을 알 수 있다. 그림 9에는 居住領域內에서 갖는 가장 큰 流速을 每時 換氣回數에 따라 나타낸 것으로서 給氣流量과 流速사이의 線型關係가 있음을 알 수 있다. 冷却時에 있어서만 低流量에서 冷噴流의 重力으로 流速이 增加되는 傾向에 있다. 이 때의 重力의 影響을 그림 10



[그림 8] 平面圖



[그림 9] 居住領域內 最大 드래프트 流速

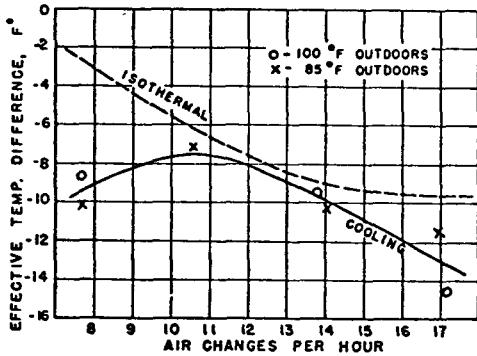


[그림 10] 慣性力 重力比에 對한 流速

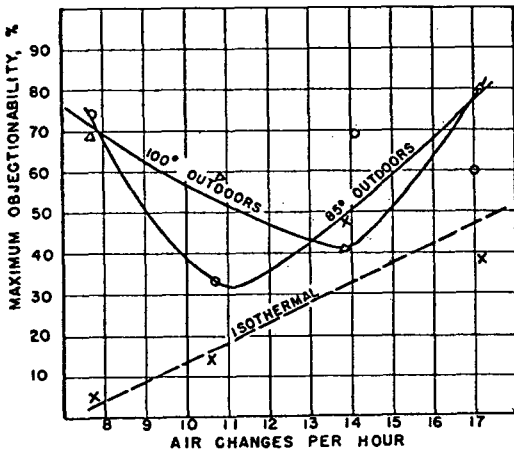
그림 11에서 時間當 換氣回數가 大略 11 일 때 有效드래프트溫度가 最低임을 보여주고 있다. 換氣回數가 이보다 높거나 낮을 때 이 威

脅的인 드래프트領域에서의 有效드래프트溫度差는 增加한다. 그림 12는 居住領域上端에서의 冷却負荷에 따른 드래프트의 不快呼訴百分率을 나타낸 것이다.

冷房時 居住領域內에서의 垂直方向溫度기울기는 작게 나타났다. 작은 換氣回數를 除外하고는 快適限界로 잡은 3°F를 넘지 않는다. 그러나 暖房時에는 10°F 또는 그 以上の 溫度기울기로 나타났다.



[그림 11] 有效 드래프트 溫度



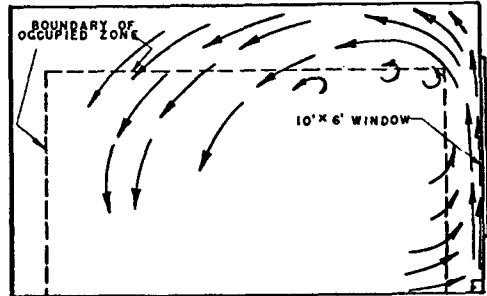
[그림 12] 居住領域上端에서의 冷却負荷에 따른 드래프트의 不快呼訴率

B. 베이스보오드 레이디얼 디퓨저

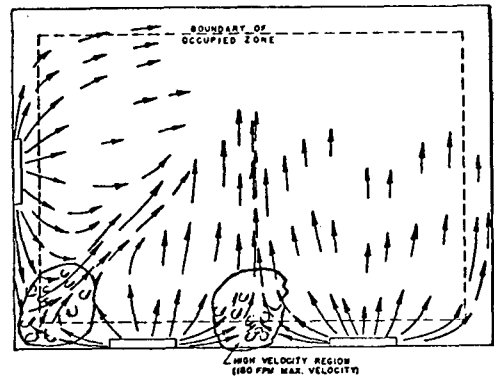
時間當 換氣回數가 11 以上일 때 支配되는 流線모양을 그림 13 및 14에 나타내었다.

그림 14에서 居住領域의 境界에 2개의 威脅的인 드래프트領域을 볼 수 있다. 이것은 두 디

퓨저에서 나온 噴流가 합쳐서 發生한 것이다. 暖房時에도 역시 같은 곳에 드래프트領域이 形成되었다.



[그림 13] 베이스보오드디퓨저에 依한 空氣流動의 모양(正面圖)
외기온도 96°F, 換氣面數 17

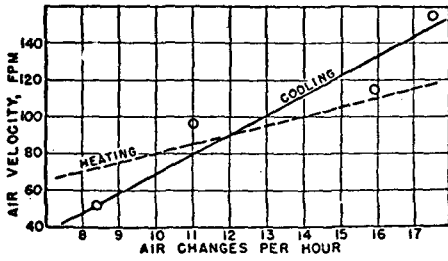


[그림 14] 베이스보오드디퓨저에 依한 空氣流動의 모양(平面圖)
외기온도 96°F, 換氣回數 17

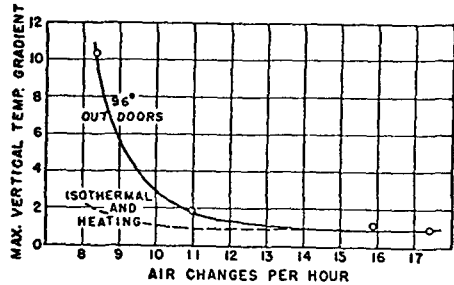
이 베이스보오드 디퓨저의 境遇에 있어서도 드래프트流速은 流量에 比例함을 그림 15에서 볼 수 있다. 一般的으로 드래프트 領域內의 流速은 처음에 잡은 快適基準限界인 50 fpm을 웃돌고 있다. 이 베이스보오드 디퓨저는 높은 流量에서 流動을 室內 구석구석에 넓힐 수 있어 冷却負荷를 均一하게 吸收한다. 그러나 換氣回數 11 以下에서는 그림 16과 같은 垂直流動의 모양을 나타내므로 큰 垂直方向溫度기울기, 滯溜되는 領域, 높은 熱負荷取得 및 點드래프트 때문에 不滿스럽다.

快適性を 본다면, 높은 流量에서는 두 디퓨저 사이에서 局部的인 不快한 드래프트가 일어난다.

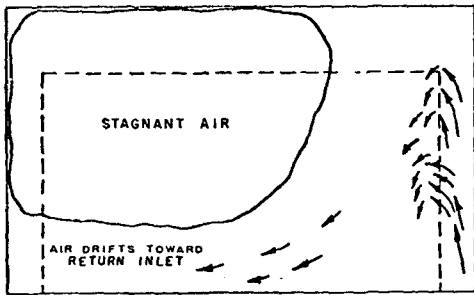
滿足스럽다.(그림 18) 이것은 冷房 및 暖房 兩者에 있어서 모두 같다.



[그림 15] 드래프트 領域內의 最大 流量



[그림 18] 居住領域內의 垂直方向 最大温度 기울기

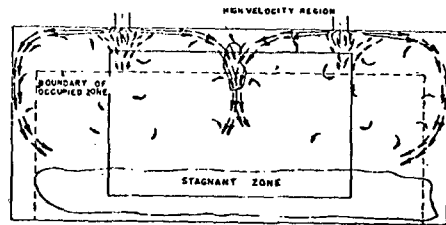


[그림 16] 베이스보오드디퓨저에 의한 空氣流動의 모양(正面圖)
外氣温度 74 °F, 換氣回數 8

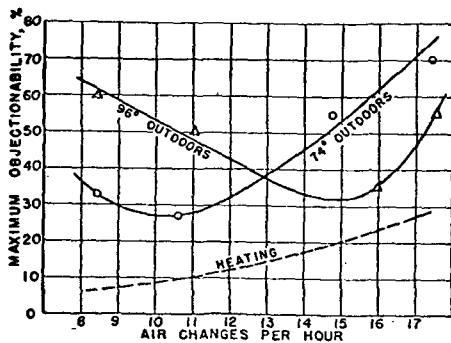
적어도 在室者의 $\frac{1}{3}$ 은 그림 17처럼 이와 같은 位置에 드래프트가 나타나고 있다. 이 베이스보오드 디퓨저는 높은 流量에서 運轉된다면 낮은 垂直方向温度기울기를 갖게 한다는 點에서

C. 圓形의 天障디퓨저

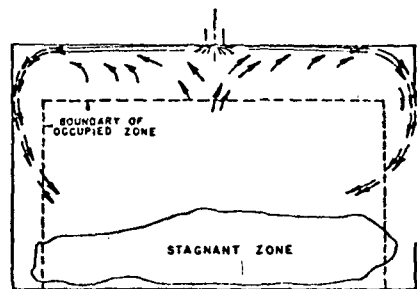
突出圓形 天障디퓨저 2個를 設置한 室內의 垂直斷面에서의 氣流의 모양을 그림 19 및 21에 그리고 1個의 경우를 그림 20에 나타내었다.



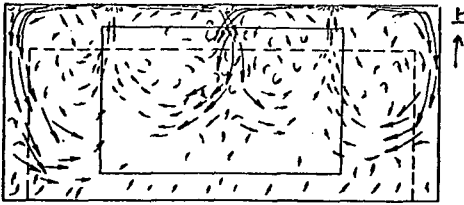
[그림 19] 天障디퓨저에 의한 空氣流動의 모양(正面圖), 外氣温度 93 °F, 換氣回數 8, 디퓨저 2個



[그림 17] 冷却負荷에 따른 드래프트의 不快 呼訴率

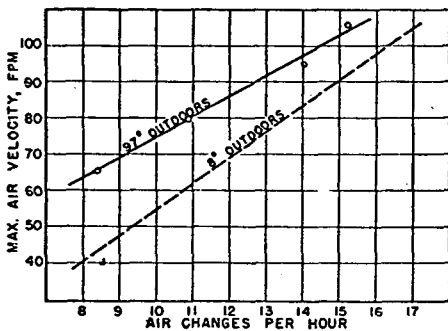


[그림 20] 天障디퓨저에 의한 空氣流動의 모양(正面圖), 外氣温度 93 °F 換氣回數 8, 디퓨저 1個



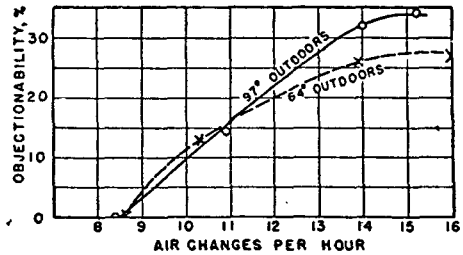
[그림 21] 天障디퓨저에 의한 空氣流動의 모양(正面圖), 外氣溫度 93°F, 換氣回數 8, 디퓨저 2個

세그림에서 給氣의 大部分이 天障을 따라 放射形으로 퍼져나가고 다음에 壁을 따라 아래로 向하면서 外壁으로부터 冷却負荷를 取得한다. 天障附近과 壁附近의 非居住領域은 噴流에 의한 周圍空氣와의 混合便乘에 充分히 活用되고 氣流가 居住領域에 들어가기 前에 噴流速度와 溫度差를 最大로 減少시켜준다. 드래프트速度는 換氣回數에 比例한다.(그림 22) 따라서 暖房에서도 마찬가지로 慣性力이 支配的이라고 結論내릴 수 있다. 이것은 그림 9와 對照된다.



[그림 22] 居住領域內의 最大 드래프트速度, 冷房 및 暖房

비록 局所速度는 약간 높지만(그림 22) 低流量이라면 在室者の 10% 좀 以上까지는 드래프트가 不滿스러운 것은 아니다(그림 23) 그러나 換氣回數 10 以上の 流量에서 드래프트는 不滿스러우게 되어 局所速度가 50 fpm의 限界를 훨씬 웃돈다. 居住領域內의 垂直方向의 溫度기울기는 모든 冷却負荷에서 無視할만 하지만



[그림 23] 各種 負荷에서의 드래프트의 不快呼訴率

暖房時에는 低流量에서 15°F에 이르고 있다.

參 考 文 獻

1. J. Rydberg & Per Norback : ASHVE Research Report No 1362 - Air distribution and draft (ASHVE Trans., Vol. 55, 1949, p. 225)
2. F. C. Moughten, Carl Gutbelet, and Edward Witvowski : Draft temperature and velocities in relation to skin temperatures and feeling of warmth (ASHVE Transactions, Vol. 44, 1938, p. 289)
3. P. L. Miller, Peter Hanni and Nevins : Final Report, Room Air Distribution Performance of Window Type Air Conditioners, KSU Engineering Experiment Station Project 296, Feb., 1964.
4. Alfred Koestel and G. L. Tuve : Performance and Evaluation of Room air Distribution Systems, ASHVE Trans. Vol. 61, 1955.
5. R. G. Nevins and P. L. Miller : No. 2258 RP-55 and 88, Analysis, Evaluation and Comparison of Room air Distribution Performance, Oct., 1972
6. P. L. Miller and R. T. Nash : A Further Analysis of Room Air Distribution Performance, ASHRAE Transactions, Vol. 77, Part II, 1971.
7. J. J. Reinmann, Alfred Koestel, and G. L. Tuve : ASHRAE Research Report No 1697 - Evaluation of three room air distribution systems for summer cooling (ASHRAE Trans., Vol. 65, 1959, p. 717)
8. ASHRAE Guide & Data Book, 1961.
9. ASHRAE Handbook & Product Directory, 1972.