한국산업위생학회지 제1권 제1호
Korean Ind. Hyg. Assoc. J.
Vol. 1, No. 1, May, 1991

후드의 充滿效果 活用技法에 關한 硏究

社團法人 韓國環境技術硏究所

尹 明照 · 金 楨紘 · 李 相鎬 · 姜 晙遠*

The Study on Applied Technique to Plenum Effect in Hood

Yoon, M.C., Kim, J.H., Lee, S.H. and Kang J.W.

Ⅰ. 緖 言

紀元前 2700年傾 古代 이집트의 피라밋트 建設을 위해 앗시리아 地方에서 이주한 技術者들의 住宅에 換氣口가 設置되어 있었다는 記錄이 있다. 이 換氣方法은 室內外 溫度差와 바람 等의 自然力을 利用한 全體換氣라고 한다면 1500年傾 레오날드 다빈치가 發明한 水車를 利用한 換氣用 부채는 動力을 利用한 全體換氣라고 할 수 있겠다.

局所換氣는 언제부터 活用됐다는 事實이 밝혀지고 있지 않지만 送風機의 發達에 따라 實用化되었을 것으로 推測된다. 産業革命이후 單一 工場의 規模가 커짐에 따라 作業環境이 惡化되어 職業病發生을 豫防키 위해 作業環境改善에 局所換氣施設이 活用됨에 따라 그 技術은 많이 發展되었다.

그러나 鍍金産業, 金屬加工産業, 타이어 및 신발産業, 페인팅 마무리 工程 그리고 表面이 개구된 反應槽 및 洗滌槽 等에서 發生되는 强酸의 發散과 有機溶制 그리고 毒性가스는 근래 作業環境을 汚染시키는 큰 要因이 되고 있다. 이러한 환경의 改善을 위해서 押引(Push-pull)후드設置가 基本的인 對策이 된다. 그럼에도 불구하고 실제 押引후두를 設置함에 있어 必要한 技術資料의 窮乏으로 어려움에 직면하게 된다. 즉 押引후드의 吸引側 후드에 上昇 發生하는 有害物質을 捕集키 위하여 슬로트의 開口面을 통하여 强力한 流速으로 汚染된 空氣를 吸入해야 한다. 이때 모든 슬로트의 吸引 流速이 일정해야 有害物質의 捕集效率이 향상된다 함은 自明한 사실이다. 이러한 조건을 만족시켜 주기 위해서는 첫째 吸引側 후드의 容積과 吸引空氣流量과의 關係에 따라 充滿效果(Plenum effect)가 달라 질 것이고, 둘째 吸引후드 構造의 모양에 따라 달라질 것이다.

이러한 假定下에 模型實驗(Pilot study)을 통하여 硏究하여 結果를 얻었기에 報告하고저 한다.

Ⅱ. 硏究方法

본 硏究는 1990年 4月부터 1990年 12月까지 8개월에 걸쳐 3개의 模型을 製作하여 熱線風速計로 장치내의 풍속, 풍정압, 壓力損失을 測定하여 充滿效果의 性能을 測定하였다.

* 延世大學敎 保健科學大學 産業保健學科
本 硏究는 産業保健協會의 硏究費로 遂行하였음.

1. 研究對象

가. 第一模型(對照模型)

充滿效果(Plenum effect)를 立證키 위한 對照實驗模型(Centrol study model)으로서 〈그림 1〉과 같다.

送風管(duct)은 內徑 55mm인 PVC管을 사용했으며 送風機(機電社 製品)는 遠心力型, 單相 1／2馬力 原動機로서 風量은 8m³/min 容量이다.

〈그림 1〉에서와 같이 充滿效果를 立證키 위해서 B管(短管)과 C管(長管)의 水平 管長比 즉 $L_B : L_c = 1 : 3$과 $1 : 12$로 했으며 吸引量은 약 2m³/min로 固定했다.

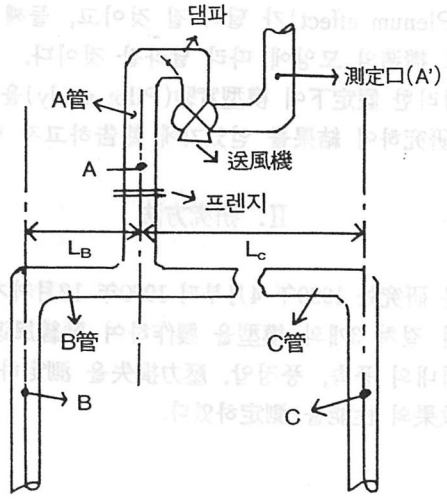
나. 第二模型(四角후드 實驗模型)

押引후드의 吸引側 후드를 〈그림 2〉와 같이 模型을 제작하여 實驗하였다.

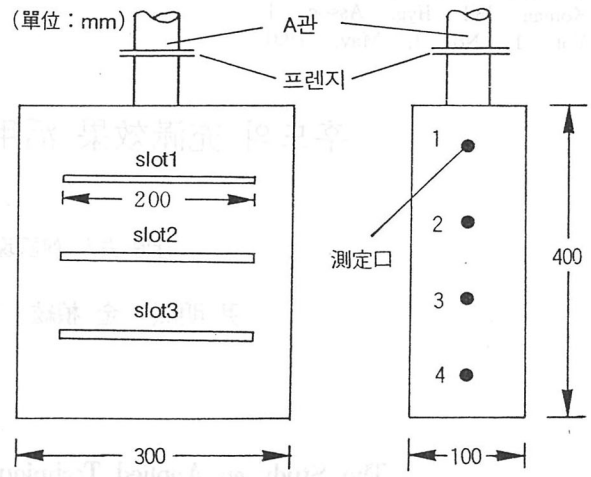
第二模型의 A管 프렌지에 四角후드 模型을 연결하여 實驗하였다. 四角후드는 三段 슬로트(가로 200mm, 세로 5mm)를 설치했으며 후드의 容積은 (가로 300mm×높이 400mm×깊이 100mm=12,000,000mm³=12L) 0.012m³로 제작하였다.

다. 第三模型(마름모 후드 實驗模型)

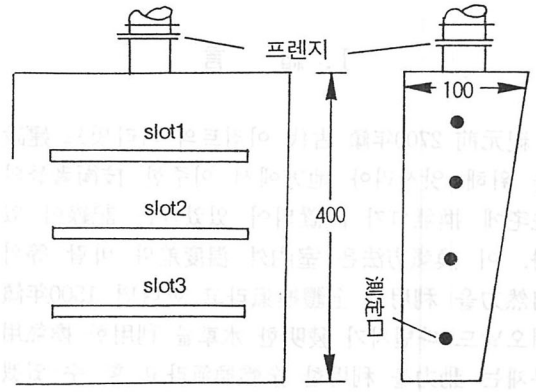
實驗用 마름모 후드의 模型은 〈그림 3〉과 같다. 즉 前面은 第二模型과 같은 크기와 모양으로



〈그림 1〉對照實驗模型



〈그림 2〉四角후드 實驗模型



〈그림 3〉마름모 후드 實驗模型

하되 側面 만을 上端 100mm 그리고 50mm로서 그 容積(9,000,000mm³=9L)은 0.009m³로 제작하였다.

2. 研究方法

가. 測定方法

(1) 流速 및 流量측정

熱線風速, 風壓計 2臺(Mini Anemometer : 日本 SIBADA 製品, Model ISA 6-2와 日本科學工業製品, ANEMOMASTER 24-6111)로 후드 前面과 管內 流速 V_t(m.sec)을 실측하였고 管內 流量은 管斷面, A(m²)으로 다음과 같이 산출하였다.

$Q=60\times0.785\times d^2\times V_t$

d : 管經(m)

Q : 流量(m^3/min)

流速은 피토 튜부와 경사 마노메타(美國 Dwyer Intrument Co., Model MM−80)의 측정된 實驗値로서 熱線風速計置를 교정하였으며 매 測定口에서 10회 實測하였다.

(2) 후드內 壓力測定

후드內의 壓力은 위에서 설명한 경사 마노메타로 〈그림 2〉와 〈그림 3〉의 후드 側面에 설치한 測定口에 연결하여 內壓(mmH_2O)을 실측하였다.

나. 實驗方法

(1) 對照實驗

充滿效果를 立證키 위하여 〈그림 1〉과 같은 模型을 送風機를 가동시킨 후 담파를 調節하여 測定口 A'와 A에서 流量을 측정하여 外氣의 漏入, 漏出이 없음을 확인한 후 $L_B:L_c=1:3$, $1:12$ 상태에서 測定口 B와 C의 流量을 실측하므로서 B管을 통하여 流入한 流量(Q_B)이 C管의 流量(Q_c) 보다 많은 것을 확인했다.

한편 水平管長比 1 : 3에서의 流量을 비교키 위하여 實驗用 후드의 개구면 위치도 等距離로 三段을 설치하여 充滿效果를 立證하였다.

(2) 本實驗

本實驗은 四角후드 模型(〈그림 2〉 참조)과 마름모 후드 模型(〈그림 3〉 참조)에서 第一段 슬롯트(上端), 第二 슬롯트(中間), 第三段 슬롯트(下端)의 내부에서 각각 풍속을 측정하여 流量을 측정하였으며 후드內壓은 그림에서와 같이 후드 外部側面에 설치한 測定口 1, 2, 3및 4(上端에서 부터 번호를 붙임)에서 측정하여 슬로트 流量에 미치는 영향을 豫測하여 二重確認에 활용했다.

한편 充滿效果는 후드의 容積(V)과 吸引流量과 밀접한 관계가 있을 것으로 예측하여 吸引流量은 0.356m^3/min(V_t=2.5m/sec), 0.712m^3/min(V_t=10m/sec), 1.425m^3/min(V_t=10.0m/sec) 및 1.995m^3/min(V_t=14m／sec) 등 4회에 걸쳐 동일한 實驗을 하여 슬롯트 流量의 변동을 관찰하여 實驗模型에 따르는 후드容量의 基準設定과 후드 모양에 대한 性能을 판정하는데 활용하였다.

Ⅲ. 研究結果와 考按

1. 對照實驗(充滿效果 立證)

2개의 送風管이 동시에 합쳐 질 때 管의 길이가 짧은 쪽으로 더 많은 流量이 流入되고 있다. 그 이유는 直徑이 같을 때 짧은 管(短管)내의 壓力損失이 長管보다 적기 때문에 일어나는 당연한 形象이다.

그러나 合技管과 主管 사이에 공간의 構造物이 있을 때에는 充滿效果(Plenum effect)로 構造物에 연결된 2개 技管의 길이가 같다면 流入量이 같다는 사실은 이미 알려진 바와 같다 (1), (2), (3).

이러한 事實을 立證키 위한 對照實驗은 〈그림 1〉과 같은 裝置에서 얻어진 結果는 〈表 1〉과 같이 水平管長比($L_B:L_c$) 1 : 3과 1 : 12일 때의 成績을 제시했다. 水平管長比 1 : 3일 때 Q_B(短管流量)와 Q_c(長管流量)는 각각 1.125+0.035(m^3/min) 및 1.064+0.028(m^3/min)였다. 이 두 平均値의 유의성 검토를 한 結果 t=4.18로서 t<0.005였다. 따라서 Q_B는 Q_c보다 크다고 하는 것은 통계학적으로 볼 때 뚜렷하게 차이가 있다고 할 수 있다. 水平管長比가 1 : 12일 때도 〈表 1〉과 같이 Q_B와 Q_c는 각각 1.140+0.04(m^3/min)와 1.03+0.03(m^3/min)로서 1 : 3의 경우와 같이 뚜렷한 차이($p<0.005$)가 있었다.

한편 〈그림 2〉에서의 吸引流量 0.356(m^3/min)에 따른 四角후드의 슬롯트 1, 2, 3단의 流量을 보면 〈表 3〉과 같다. 즉 이 후드의 吸引口에서 부터 슬롯트까지의 거리를 等距離로 하였다. 따라서 第一段 슬롯트 거리 : 第三段 슬롯트 거리는 1 : 3이므로 이 후드 자체가 充滿效果를 일으키는 공간이라 할 수 있다. 따라서 〈表 3〉에서 볼 때 吸引流量 0.356(m^3/min)의 경우 3개 슬롯트에서 모두 동일한 0.11+0.002(m^3/min)였으므로 充滿效果를 立證하고 있다. 동시에 본 研究에 사용한 후드模型은 充滿效果 研究에 적합한 裝置임을 확인할 수 있다.

〈表 1〉 對照實驗에서의 短管과 長管의 流量　　平均±標準偏差

項目 ＊水平管長比 流量	實測値(m^3/min) Q_A	Q_B	Q_C	計算値 Q_A'
1 : 3	2.131	1.125	1.064	2.189
	±0.090	±0.035	±0.028	±0.095
1 : 12	2.040	1.140	1.03	2.17
	±0.02	±0.04	±0.03	±0.050

＊ $L_B : L_C$
Q_A=總流入量　　Q_C=長管流量
Q_B=短管流量 (實測値)　　$Q_A'=Q_B+Q_C$ (計算値)

〈表 2〉 吸引流量에 따른 각 후드內壓 分布

후드種類 / 후드의 測定口番號(位置) / 流量(m^3/min)	四角 후드 0.356	0.712	1.425	1.995	마름모 후드 1.356	0.712	1.425	1.995
1(上段과 1段 슬롯트 中間)	−0.38	−1.70	−8.10	−25.52	−0.6	−2.8	−12.0	−37.8
2(1段과 2段 슬롯트 中間)	−0.38	−1.70	−8.10	−25.52	−0.6	−2.8	−12.0	−37.82
3(2段과 3段 슬롯트 中間)	−0.38	−1.70	−8.10	−25.52	−0.6	−2.8	−12.0	−37.83
4(3段과 슬롯트 下段 中間)	−0.38	−1.70	−8.10	−20.52	−0.6	−2.8	−12.0	−37.81

〈表 3〉 吸引流量에 따른 實驗후드 슬롯트 流量變化　　平均±標準偏差

후드種類 / 流量(m^3/min) / 슬로트段數	四角 후드 1	2	3	마름모 후드 1	2	3
0.356	0.110	0.111	0.110	0.146	0.146	0.145
(2.5m/sec)	±0.002	±0.002	±0.002	±0.003	±0.003	±0.008
0.712	0.238	0.236	0.235	0.296	0.296	0.296
(5.0m/sec)	±0.005	±0.002	±0.004	±0.003	±0.004	±0.003
1.425	0.485	0.488	0.482	0.595	0.596	0.596
(10.0m/sec)	±0.011	±0.006	±0.010	±0.002	±0.004	±0.003
1.995	0.720	0.720	0.690	0.894	0.893	0.894
(14.0m/sec)	±0.022	±0.010	±0.014	±0.006	±0.008	±0.007

(　)=管內搬送速度

2. 후드모양에 따른 性能

押引후드(Push-pull hood)의 吸引側 후드의 모양은 側面에서 볼 때 四角과 마름모 모양을 흔히 사용하고 있다. 그러나 이 모양에 따르는 性能에 대한 科學的인 자료는 거의 찾아볼 수 없으므로 四角후드를 사용하는 作業場이 많이 發見되고 있는 實情이다.

따라서 四角과 마름모 후드에 대한 模型을 製作하여 實驗해서 다음과 같은 結果를 얻었다. 三段 슬롯트를 設置한 包圍式 후드는 3개 슬롯트에서 流入되는 流量이 同一해야 性能을 다 할 수 있다. 3개 슬롯트를 설치한 目的은 有害物質을 發散하는 表面開口槽(Open surface tank)에서의 汚染物質을 三次에 걸쳐 均等하게 포집하므로서 作業環境汚染을 豫防하고저 하는데 그 뜻이 있다.

이러한 사실을 立證하므로서 후드의 性能을 1차적으로 判定키 위해 模型의 側面에 設置한 4개의 測定口에서 四角 및 마름모 후드의 內壓分布를 吸引流量에 따라 〈表 2〉와 같은 結果를 얻었다. 즉 吸引流量을 變換시켜 주어도 모든 測定口에서의 內壓은 特定 流量으로 固定했을 때에는

內壓은 一定하였다. 그러나 四角 후드인 경우 吸引流量이 가장 높았던 1.995(m^3/min)였을 때 測定點 4의 內壓은 --20,3 mmH_2O로 다른 1, 2, 3 測定點의 內壓 −25.5 mmH_2O 보다 떨어진 사실을 확인하였다. 測定點 4는 三段 슬롯트와 후드 下段(바닥)의 중간에 설치 되었으므로 제3 슬롯트에서 吸引되는 流量이 적어졌다는 사실을 증명하는 結果가 된다.

이러한 假定을 確認키 위해서 실제로 슬롯트에서 유입되는 流量을 측정하여 〈表 3〉과 같은 結果를 얻었다. 그랬더니 후드 內壓의 結果와 동일한 현상을 확인하였다. 즉 吸引流量에 따른 實驗 模型후드의 3개의 슬롯트에서 유입되는 流量은 같았으나 四角 후드의 第3段 슬롯트(후드의 가장 아래에 있는 슬롯트)에서의 유입량은 0.69m^3/min로서 第一段과 第二段 슬롯트의 0.72m^3/min 보다 약 5% 流量이 저감됐음을 확인하였다. 이 두 平均値差의 統計的인 有意性 檢定을 한 結果 t=5.24로서 t<0.005와 같이 평가되었으므로 의의 있는 流量差라 할 수 있겠다.

따라서 四角 후드와 마름모 후드를 비교할 때 마름모 후드가 더 性能이 좋으며 또한 〈表 2〉에서 본 바와 같이 후드 內壓이 마름모 후드쪽의 內壓이 吸引流量에 따라 다르지만 四角 후드에 비하여 거의 2倍 가까이 높다는 뜻은 후드 前方의 기류가 불안전 하거나 장애물이 있다고 하더라도 吸引速度에 변화를 일으키지 않는 潛在力이 있다는 뜻이 된다.

한편 吸引流量이 2倍 증가함에 따라 內壓은 약 4.55倍 즉 指數函數的으로 상승한다는 것은 장차 더 세밀한 硏究를 거쳐 그 流體工學的인 원인을 규명해야 할 흥미있는 사실이라 하겠다.

3. 후드 容積과 吸引流量

후드 容積은 四角 후드(12L=0.012m^3)보다 마름모 후드(9L=0.009m^3)가 더 적은 데도 불구하고 슬롯트의 流量과 流速이 마름모 후드 슬롯트의 流量이 약 1.27倍 높다는 것은 흥미있는 사실이다. 그 원인에 대해서는 장차 硏究할 과제이지만 實驗結果가 사실이라면 동일한 후드 容積이라 할 때 마름모 후드를 택한 국소환기시설은 더 많은 流量을 처리할 수 있는 유리한 시설이라 하겠다.

이러한 사실들은 종합해 볼 때 후드의 용량과 吸引流量과의 사이에 상관관계가 있을 것으로 보아 流量에 따른 각 후드의 容積流量比(比/分)와 슬롯트 流速比($V_{sLot\ 3}/V_{sLot\ 1}$)를 〈表 4〉에 제시했다. 즉 吸引流量이 0.356m^3/min일 때 四角 후드 容積은 0.012m^3이므로 容積流量比는 30倍/分(0.356 m^3/min÷0.012m^3)이지만 마름모 후드(容積 0.009m^3)는 40倍로서 더욱 많은 流量을 처리할 수 있다. 즉 分當, 후드容積 1m^3로서 40m^3/min의 吸引流量을 처리할 수 있으므로 四角 후드보다 약 1.33倍의 효과가 있을 뿐만 아니라 후드 製作資材도 절약되므로 經濟的이라 할 수 있다.

특히 吸引流量이 1.995m^3/min일 때 四角 후드의 容積流量比는 166.3이지만 마름모 후드는 221.7m^3/min로서 역시 1.33의 효과가 있었다. 이러한 사실은 후드 前面의 크기와 구조는 四角 후드와 마름모 후드가 같지만 容積은 3:2이기 때문에 생긴 현상이라 추측된다.

한편 第一段 슬롯트 流速에 대한 第三段 슬롯트 流速과의 比 즉 슬롯트 流速比는 마름모 후드

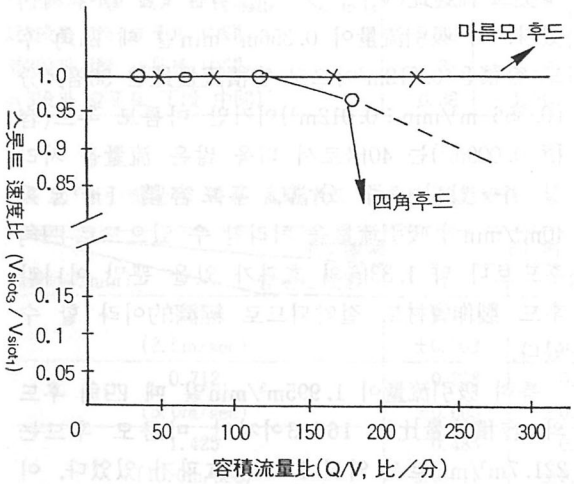
〈表 4〉 流量에 따른 각 후드의 容積流量比와 슬롯트 流速比

流量(m^3/min) 流量,流速比 (搬送速度 V_{t1}m/sec) 후드種類	容積流量比(比/分)*1		슬롯트流速比(V_{aLot3}/V_{sLot1})	
	四角후드	마름모후드	四角후드	마름모후드
0.356(2.5)	30.0	40.0	1.00	0.99
0.712(5.0)	59.3	79.1	0.99	1.00
1.424(10.0)	118.8	158.3	0.99	1.00
1.995(14.0)	166.3	221.7	0.95	1.00

*1 후드容積(m^3)에 대한 分當 流速比(m^3/min) (Q/V_t)
四角후드容積=0.012m^3
마름로후드容積=0.009m^3

의 경우 모든 吸引流量에 따라 1.0으로 변화 없었으나 四角 후드의 경우는 0.95로서 流量이 많아짐에 따라 후드 性能의 限界가 있음을 알 수 있다. 따라서 슬롯트 流速比와 容積流量比와의 관계를 〈그림 4〉에 표시했다.

그림에서와 같이 마름모 후드는 流量이 증가해도 第一段 슬롯트와 第三段 슬롯트의 流速은 변화가 없으나 四角 후드의 경우는 166.3比／分이 한계점이 되어 그 이상의 容積流量比에서는 적용불가능한 상태이다. 마름모 후드의 경우는 약 220比／分 이상에서는 實驗을 하지 않았기에 한계점이 알려지지 않았으므로 장차 더욱 강한 吸引流量에서 研究해야 할 것으로 생각된다.



〈그림 4〉對象 후드의 容積流量比와 슬롯트 速度比와의 關係

Ⅳ. 結　論

局所換氣는 作業環境改善을 위하여 매우 중요한 역할을 함에도 불구하고 기술자료가 부족한 실정이다. 특히 押引후드(Push-pull hood)에 대한 研究는 거의 없으므로 1990년 4월부터 동년 12월까지 模型을 통하여 研究하였기에 보고한다.

1. 對照模型實驗에서 水平管長比 1：3일 때 短管流量(Q_B)과 長管流量(Q_c)은 각각 1.125+0.035m³/min 및 1.064+0.028m³/min였으며 $t<0.005$로서 통계상 有意性있는 差를 나타냈으며 1：12의 경우도 동일하였다.

2. 그러나 模型후드의 第一段과 第三段 슬롯트 吸引口에서 1：3의 거리에 있음에도 불구하고 후드 容積이 차지한 空間이 充滿效果(Plenum effect)를 하고 있기에 2개의 슬롯트의 流量은 모두 0.11+0.002m³/min였으므로 本 研究에 사용한 模型에서 充滿效果가 있음을 확인하였다.

3. 四角 후드와 마름모 후드의 內壓분포는 吸引流量에 따라 모두 균등하였으나 四角 후드의 內壓은 最大吸引流量(1.995 m³/min)일 때, −25.5mmH_2O로 分布되어 있었으나 후드內 바닥만이 −20.5 mmH_2O로서 후드內 壓力은 고르게 分布되지 않았다. 이 사실은 吸引流量과 후드容積間에 相關關係가 있음을 立證하고 있다고 본다.

4. 마름모 후드의 內壓은 四角 후드보다 약 60% 높았으며 吸引流量이 2倍 증가함에 따라 內壓은 指數函數로 증가하고 있었다.

5. 2개 대상 후드의 3개 슬롯트에서 流入되는 流量은 같았으나 四角 후드의 第三段 슬롯트(후드의 가장 아래에 있는 슬롯트)에서의 流入量(0.69m³/min)은 第一段과 第二段(0.72m³/min)보다 약 5% 低減됐음이 확인($p<0.005$)되어 內壓差發生現象이 밝혀졌다.

6. 四角 후드 容量(0.012m³) 보다 마름모 후드의 容量(0.009m³)이 더 적은데도 불구하고 슬롯트의 流量(0.437+0.004m³/min)과 流速(2.43+0.04m³/min)이 각각 31.6% 및 32.1% 높았다는 사실은 동일한 후드의 容積이라 할 때 마름모 후드를 택한 局所換氣施設이 더 많은 流量을 처리할 수 있으므로 性能이 좋다고 할 수 있다.

7. 吸引流量이 0.356m³/min일 때 四角 후드의 容積流量比는 30倍／分이지만 마름모 후드는 40倍／分으로서 더욱 많은 流量을 처리할 수 있으므로 그 性能이 좋은 것으로 立證되었다.

8. 吸引流量이 1.995m³/min일 때 四角 후드의 容積流量比는 166.3倍／分이지만 마름모 후드는 221.7倍／分으로서 역시 1.33倍의 效果가 있었다. 그러나

9. 第一段 슬롯트 流速에 대한 第三段 슬롯트 流速比 즉 슬롯트 流速比는 2개의 후드에서 모두

1.0이였으나 四角 후드의 경우 最大流量(1.995m³/min)의 경우 사각 후드는 0.95로서 性能의 한계가 있었다.

以上과 같은 사실들을 綜合하여 볼 때 四角 후드가 마름모 후드보다 性能이 優秀하며 容積流量比와 슬롯트 流速比로서 실제 押引후드(Push-pull hood)의 吸引側 후드 設計時 이 硏究資料를 활용함으로서 科學的이고도 合理的인 局所換氣施設을 製作하여 作業環境改善에 도움이 될 것으로 본다.

參 考 文 獻

ACGIAH : *Industrial Ventilation, A Manual of Recommended Practice, 14Ed. Edward Brothers Inc : Michigan, 1976*

Alden, J.L. and J.M, Kane : *Design of Industrial Ventilation Systems, 5Ed., Industrial Press Inc. : New York, 1982*

沼野雄志 : やさしい局排設計敎室, 中央勞動災害防止協會 : 東京, 1986