

4A1) 방해기류 방향 및 유속에 따른 푸쉬-풀후드의 효율 평가 Efficiency Evaluations of the Push-Pull Hood System by Directions and Velocities of Cross Drafts

김태형 · 송세욱¹⁾ · 하현철 · 강호경
 창원대학교 환경공학과, ¹⁾한국산업안전공단

1. 서 론

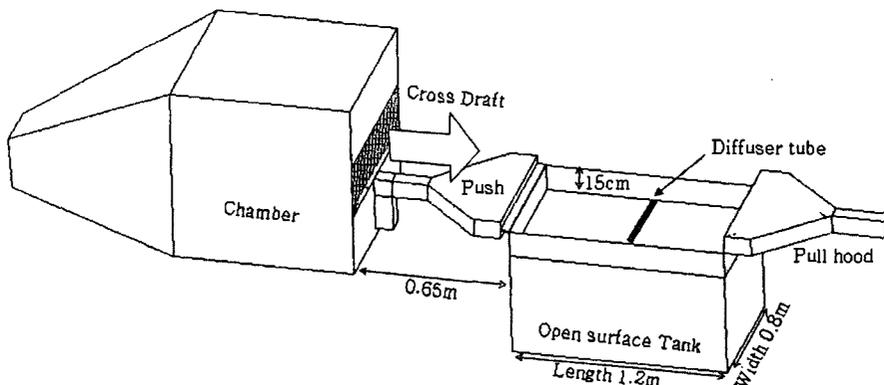
푸쉬-풀 후드는 도금조와 같은 개방조에서 발생하는 오염물질을 효율적으로 제어하기 위해 적용되고 있으며, 푸쉬노즐에서 공급된 기류를 따라 오염물질은 풀 후드가 있는 조 반대편으로 이동되고, 풀 후드에서는 푸쉬노즐 기류를 따라 이동된 오염물질을 배기시키는 방법이다. 푸쉬-풀 후드 시스템은 측방형 후드에 비하여 배기유량을 50% 이하로 줄이면서도 오염물질 배기 효율은 더 높은 장점이 있다.

푸쉬-풀 후드의 설계는 ACGIH(American Conference of Governmental Industrial Hygienists)에서 발행한 산업환기 매뉴얼에 따라, 노즐의 각도, 조의 표면적, 푸쉬 jet의 운동량 등 여러 변수를 고려하여 설계한다. 푸쉬 풀후드의 효율에 직접적으로 영향을 줄 수 있는 방해기류에 대해서는 0.4m/s 정도의 유속에서는 급배기 유량을 약간 조절하여 설계하도록 하고 있지만, 0.4m/s를 초과하는 빠른 유속의 방해기류가 흐르는 작업장에 대해서는 정확한 설계 기준이 제시되어 있지 않아 설계자의 경험에 크게 의존하고 있는 실정이다.²⁾ 하지만, 국내 도금 작업장의 방해기류를 측정한 연구 결과에 의하면, 도금조가 설치된 작업장의 평균 방해기류속도는 0.6m/s정도이고, 창문 근처나 출입문 등에서는 1~4m/s 정도의 빠른 방해기류가 흐르고 있는 것으로 조사되어, 산업환기 매뉴얼에서 제시한 방해기류 범위인 0.4m/s를 초과하고 있어 설계에 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다.

본 연구는 향후 방해기류가 존재할 경우 설계 기법을 개발하기 위한 기초 연구로, 방해기류의 방향과 속도에 따른 푸쉬-풀 후드 효율변화를 기류가시화 및 추적자 가스 실험을 통해 평가하였다. 실험실내에 실험용 푸쉬풀 후드를 구성하여 기류 가시화 실험을 통해 방해기류 방향에 따른 푸쉬-풀 효율 변화를 평가한 후, 효율 변화에 영향을 가장 많이 주는 방향에 대해 방해기류 유속에 따른 효율변화를 추적자 가스 실험을 통해 평가하였다.

2. 연구 방법

방해기류의 방향과 유속에 따른 푸쉬-풀후드의 효율변화를 확인하기 위하여 Fig. 1과 같이 1.2m×0.8m 크기의 개방조를 구성하였다. 그리고 산업환기 매뉴얼 25th의 설계기준에 맞추어 높이 5mm nozzle이 부착된 푸쉬와 0.05m×0.8m의 풀 후드로 구성된 푸쉬-풀 후드 시스템을 구성하였고 푸쉬-풀 유량은 산업환기 매뉴얼 설계 값으로 고정하여 실험 하였다.



방해기류는 창문이나 출입문을 통해 유입되는 경우의 조건을 모사하기 위해 <Fig. 1>과 같이 풍동장치를 이용하여 공급하였고, 방해기류 유속은 푸쉬풀 후드 상부에서 0m/s~1.47m/s 범위에서 조절하였다.

방해기류의 방향은 푸쉬 노즐에서 풀 후드로 흘러가는 방향과 그 반대인 풀 후드에서 푸쉬 노즐로 흘러가는 방향 2가지에 대하여 평가하였으며, 푸쉬-풀 후드 실험장치의 방향을 바꾸어 방해기류의 방향을 조절하였다.

기류 가시화 실험은 연막발생기를 이용하여 푸쉬 노즐에서 연기를 공급하였고, 외부로 확산되는 연기 양과 기류 흐름을 확인하여 효율을 평가하였다.

방해기류 유속에 따른 효율은 추적자 가스 실험을 통해 평가하였고, Linear efficiency와 Total efficiency를 측정하였다. Linear efficiency는 Fig. 1에서와 같이 푸쉬 노즐에서 풀 후드 방향으로 등 간격으로 12지점으로 나누어 평가하였으며, Total efficiency는 Linear efficiency의 결과를 평균하였다.

Tracer gas의 공급은 직경 1mm의 hole이 150개 뚫려 있는 길이 0.8m인 Diffuser tube를 사용하였으며, tracer gas로는 5%의 SF₆를 사용하였다. 가스농도의 측정은 NDIR 방식의 Multi gas monitor<B&K 1302>를 이용하였고 공급가스의 질량농도 및 배기되는 질량농도를 측정하여 효율을 산정하였다.

3. 결과 및 고찰

Table 1은 기류 가시화 실험을 통해 방해기류 방향에 따라 푸쉬풀 후드 효율 평가를 위한 실험조건을 정리한 것이다.

Table 1. Test conditions for flow visualization by directions of Cross drafts.

	Push Nozzle Velocity(m/s)	Pull hood Velocity(m/s)	Cross Draft Velocity (m/s)	Direction of Cross draft
Case 1	10.2	10.0	0.75	Push → Pull
Case 2	10.2	10.0	0.75	Pull → Push

방해기류 유속은 0.75 m/s로 고정하였고, 푸쉬-풀 후드 유량은 미국산업환기 매뉴얼의 설계기준에 준하여 설계하였다. 방해기류의 방향은 Case 1은 푸쉬노즐에서 풀 후드 방향으로, Case 2는 풀 후드 방향에서 푸쉬 노즐방향으로 부는 경우를 가져하였다.

Fig. 2는 방해기류의 방향에 따른 푸쉬 jet의 기류를 가시화한 결과이다.

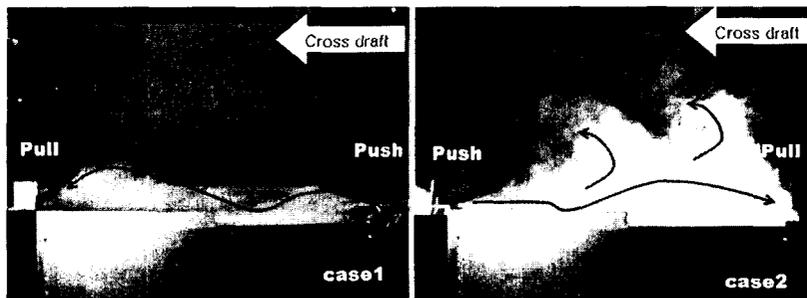


Fig. 2. Visualization of air streams according to Cross draft directions.

기류가시화 실험을 통해 방해기류 방향에 따른 효율 평가결과를 정리한 Fig. 2를 보면, 푸쉬노즐에서 풀 후드 방향으로 방해기류가 부는 Case 1은 푸쉬노즐에서 공급된 연기가 대부분 풀 후드를 통해 배출된다. 하지만, 풀 후드에서 푸쉬노즐 방향으로 방해기류가 부는 Case 2는 푸쉬 노즐에서 공급된 연기가 대부분 작업장으로 확산되는 것으로 나타났다.

즉, 방해기류가 풀후드에서 푸쉬 노즐 방향으로 불 경우, 푸쉬노즐 기류와 방해기류의 방향이 반대이기 때문에 두 기류가 부딪쳐서 효율이 급감하게 되는 것으로 나타났다.

방해기류 속도에 따른 효율 평가는 풀후드에서 푸쉬노즐 방향으로 방해기류가 부는 Case 2의 경우에 대해서 실시하였다. Table 2는 방해기류 유속에 따른 효율 평가를 위한 실험조건을 정리한 것이다.

Table 2. Test conditions for efficiency evaluation by velocities of Cross drafts.

	Push Nozzle Velocity(m/s)	Pull hood Velocity(m/s)	Cross-Draft Velocity (m/s)
Case 3	10.2	10.0	0.40
Case 4	10.2	10.0	0.75
Case 5	10.2	10.0	1.05
Case 6	10.2	10.0	1.45

Case 3~Case 6은 방해기류의 유속이 증가함에 따라 Industrial Ventilation Manual의 설계값이 더 이상 적용되지 못하는 지점을 확인하기 위하여 방해기류를 약 0.4m/s정도 씩 증가시켜 실험 한 조건이다.

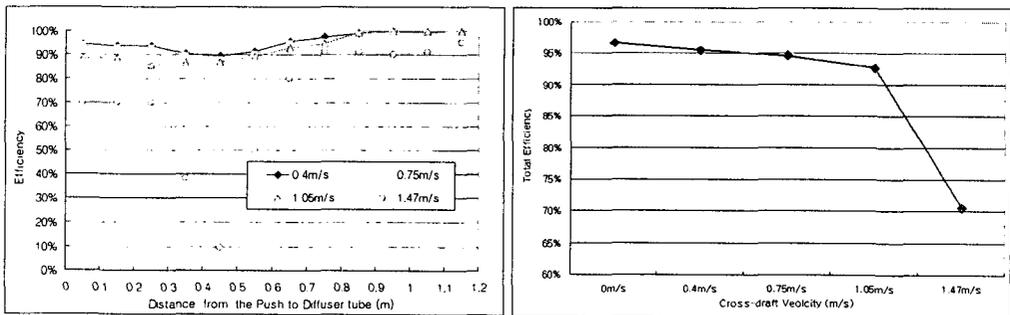


Fig. 3. Linear and Total Efficiencies by Cross Draft velocities.

Fig. 3에서 보는 것과 같이 방해기류가 증가함에 따라 일정 범위 내에서는 효율저하가 심하게 이루어지지 않지만, 1.47m/s에서는 효율이 급격하게 떨어진 것을 볼 수 있으며, 조액면의 중간 영역에서 그 정도가 매우 심한 것을 알 수 있다. 이는 방해기류가 개방조 액면의 중간영역에 가장 강하게 영향을 미치기 때문이며, 1.47m/s이상에서는 푸쉬 jet이 제 역할을 하지 못하게 됨을 의미한다.

따라서 방해기류가 강하게 부는 작업장의 푸쉬-풀 후드 배기효율 저하를 막기 위해서는산업환기 메뉴얼상의 설계기준 보다 많은 설계유량이 필요하다.

향후 방해기류의 세기에 따른 효율저하를 막기위한 푸쉬-풀 후드 유량 설정에 관한 연구가 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

김태형외 3인 (1999) “산업환기” 신광출판사 pp. 75.

American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH) (2004) "Industrial Ventilation-A Manual of Recommended Practice", 25rd ed. Cincinnati, OH : ACGIH.

김태형, 하현철, 송세옥, 홍좌령 (2004) “개방조 후드가 설치된 도금 작업장의 방해기류 측정” 한국산업위생학회지.