

전산유체역학을 이용한 흡후드 제어유속 개선(I) - 균일류

정종현¹, 이상운², 이상만³, 손병현^{4*}, 이정희¹, 정유진⁵
¹대구한의대학교 보건학부, ²청수이앤씨(주), ³차의과학대학교 부속 구미차병원
⁴한서대학교 환경공학과, ⁵씨이테크(주) 연구개발센터

Improvement of Capturing Velocity in the Fume Hood using Computational Fluid Dynamics(I) - Uniform flow

Jong-Hyeon Jung¹, Sang-Woon Lee², Sang-Man Lee³, Byung-Hyun Shon^{4*},
Jung-Hee Lee¹ and Yu-Jin Jung⁵

¹Faculty of Health Science, Daegu Haany University, ²Chengsoo E&C Co. Ltd.,
³Gumi CHA Hospital attached College of Medicine CHA University Health Management Center,
⁴Dept. of Environmental Engineering, Hanseo University
⁵C.E.Tech Co. Ltd., R&D Center

요 약 본 연구에서는 전산유체역학(CFD)을 이용하여 흡후드(fume hood)의 기류 유입특성 및 유속 분포를 평가하였다. 또한, 후드 개구면을 균일류 형성에 필요한 구조로 개선하였을 경우의 유동 특성을 예측하여 개선 효과를 검증하였다. 기존의 흡후드의 제어유속을 평가한 결과, 제곱평균(RMS)값과 비교했을 때 최대 23~30%의 편차가 있음을 확인하였다. 또한, 후드의 상부 유속이 하부 유속보다 58~68% 정도 빠른 것으로 나타나 후드 개구면에서의 유속 불균형이 매우 심한 것으로 평가되었다. 이에 후드 개구면에서의 균일한 배기흐름을 유지하기 위해 후드를 개선(안쪽벽에 배플 설치 및 슬롯 타입의 개구부 설계)한 결과, RMS값 대비 최대 7%의 편차를 보였으며 구간별 유속 편차는 최대 12% 정도로 예측되어 기존 구조에 비해 제어유속의 불균형이 많이 해소되는 것을 확인할 수 있었다.

Abstract This study used Computational Fluid Dynamics(CFD) to assess the properties of the air current inflow and the flow velocity distribution in the fume hood. In order to verify the effect of improvement, it was also predicted the characteristics of the flow pattern in case the hood face is structurally improved. The assessment of the capture velocity with the existing fume hood confirmed maximum 23 to 30% difference as compared to the root mean square (RMS). And the hood face showed great difference in flow velocity, with the flow velocity in the upper part is 58 to 68% faster than that in the lower part of the hood. So, as a result of the improvement of the hood designed to maintain a steady exhaust at the hood face (that is, installing a baffle on the inner wall and designing the slot type face), a difference of maximum 7% as compared to RMS appeared while maximum 12% differentiation in flow velocity through sections was predicted, showing mitigation of much of the difference in control velocity as compared to the previous structure.

Key Words : Computational Fluid Dynamics, Fume hood, Capture velocity, Uniform flow

1. 서론

산 공정에서 발생하는 유기용제, 특정 화학물질, 중금속, 분진 등에 작업자가 노출되지 않도록 하기 위한 공학적 산업환기(industrial ventilation)는 산업 현장의 각종 생 인 제어 수단이라 할 수 있으며, 전체환기(general

본 연구는 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업이며, (No. 2012014771) 연구비를 지원하여 주심에 감사드립니다.

*Corresponding Author : Byung-Hyun Shon (Hanseo University)

Tel: +82-10-9669-1368 email: bhshon@hanseo.ac.kr

Received January 2, 2013

Revised (1st January 21, 2013, 2nd January 29, 2013)

Accepted February 6, 2013

ventilation)와 국소배기(local exhaust) 분야로 구분할 수 있다. 전체환기는 작업장의 온열 환경이나 공기질을 개선하여 쾌적한 작업환경을 구현하는 것이 목적이고 국소배기는 유해물질로부터 작업자의 건강 장애를 방지하는데 원천적인 제어 수단으로서 그 목적이 있다. 따라서 국소배기는 유해물질 발생원에 최대한 근접시켜 유해물질이 확산되기 전에 포집하여 제거함을 목적으로 한다[1].

국소배기 시스템은 후드, 덕트, 공기정화장치, 송풍기, 굴뚝 등으로 구성된다. 이 중 후드는 실제 오염원에서 발생하는 오염물질을 제어하여 작업자의 호흡영역을 보호하는 수단이므로 국소배기 시스템에서 가장 중요한 요소라 할 수 있다. 실험실에서 이용하고 있는 흡후드(fume hood)는 각종 유기용제와 분진류, 산 및 알칼리류, 생물학적 위험물질 등을 취급하는 경우에 많이 사용하고 있으며, 흡후드 설계시 공기역학적 유입특성(aerodynamic entry characteristics)을 고려하고 후드 내부의 유체 흐름 특징을 충분히 파악하여 설치하는 것이 제일 중요하다 [2].

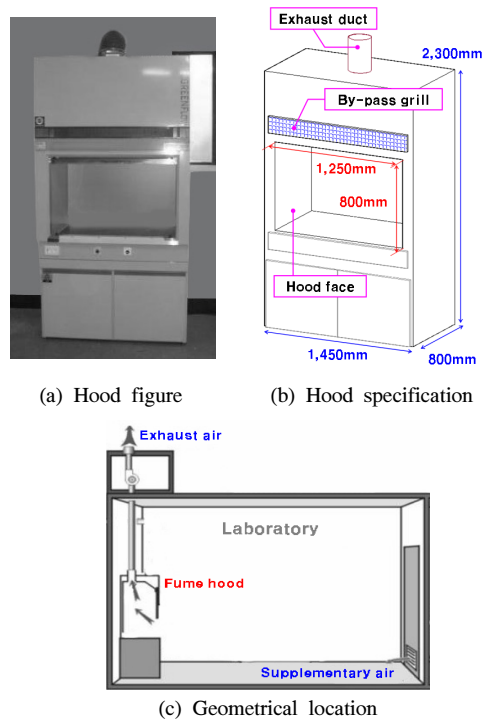
흡후드의 포집 기능이 제대로 발휘되기 위해서 균일한 개구면 유속을 유지시키고 후드 내부에서의 와류(vortex) 생성을 억제시키거나 최소화시킬 수 있는 구조로 설계하는 것이 중요하다. 이러한 기류 특성을 고려한 최적의 후드 형상 설계에 대한 실험적 고찰은 다수 있으나, 실험은 다양한 의존 변수를 다루는데 있어서 시간 및 비용적인 측면에서의 어려움과 측정장비의 정확성 등의 문제로 연구 활용도와 범위가 매우 한정적이라 할 수 있다. 이에 유동 분포를 예측할 수 있는 수치해석기법(CFD : Computational Fluid Dynamics)은 이러한 실험적 한계성을 해결하여 기류 특성을 이해하는데 매우 경제적이고도 효과적인 방법을 제공할 수 있다[3-9].

본 연구에서는 유해물질을 취급하고 있는 실험실용 흡후드에 대해 현장 실측을 통해 문제점을 도출하고, 수치해석기법을 이용하여 기류 유입 특성 및 유속 분포를 예측하고 실측치와 비교하여 수치해석기법의 성능을 검증하였다. 또한 검증된 성능을 바탕으로 후드 개구면에서의 균일류(uniform flow) 형성에 필요한 구조로 개선하였을 경우의 유동 특성을 예측하여 개선 효과를 검증하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1 측정 방법

본 연구 대상 후드 및 제원은 Fig. 1과 같다.



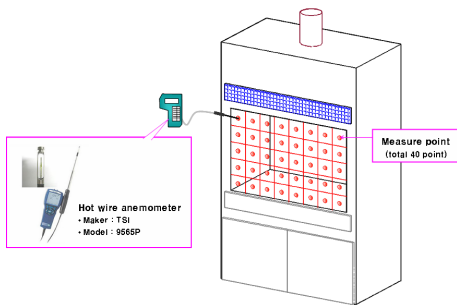
[Fig. 1] Fume-hood configuration and dimension.

후드 상부에 상방향 배기 덕트가 설치되어 있고, 후드 전면에는 개폐가 가능한 수직 개방형 도어가 설치되어 있으며 도어를 모두 닫았을 때 보충공기(supplementary air)가 유입될 수 있도록 도어 상부에 바이패스형 그릴(by-pass type grill)이 설치되어 있는 전형적인 부스식 후드(booth hood)이다. 흡후드의 배기량(Exhaust flow rate)은 배기덕트에서 유속을 측정하고 식(1)과 같이 평가하였다. 유속은 열선풍속계(hot wire anemometer, TSI Co., model 9565P)로 피토티관 횡단법(pitot traverse)에 의거하여 덕트 단면에서 총 10 point를 측정하여 평균하였다[1].

$$Q(\text{m}^3/\text{min}) = 60 \times A(\text{m}^2) \times V(\text{m/s}) \quad (1)$$

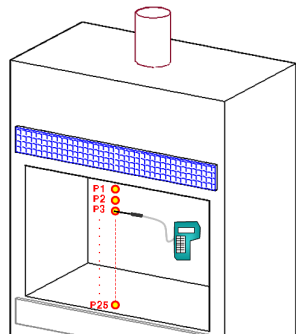
여기에서 Q는 배기량(m^3/min)이고 A는 단면적(m^2)이며 V는 유속(m/s)이다.

흡후드의 개구면 유속(face velocity)은 Fig. 2와 같이 도어를 모두 개방한 상태에서 후드 개구면(hood face)을 등간격으로 총 40개로 등분하여 각 분할 면적의 중앙 지점에서 유속을 측정한 후 평균하였다[1]. 도어를 완전히 개방하여 측정한 이유는 산업안전보건법의 국소배기 검사 기준에 도어를 모두 개방한 상태에서 검사토록 규정하고 있기 때문이다.



[Fig. 2] Measuring of face velocity in the fume-hood face.

또한, 부스식 후드이므로 개구면 유속과 제어유속 (capture velocity)이 동일한 개념이라 볼 수 있으나 기존 구조의 측정치와 예측치 및 개선 구조의 예측치를 좀 더 용이하게 비교하기 위해 Fig. 3과 같이 후드 개구면의 중앙을 기준으로 길이 방향으로 총 25 point(개구면 최상부 P1 ~ 개구면 최하부 P25)에서 제어유속을 측정하여 각각 비교하였다.



[Fig. 3] 25 sampling point(face velocity) in the fume-hood face.

2.2 수치 해석 방법

2.2.1 지배 방정식

유체의 유동에 대한 물리적인 특성을 나타내는 기본적인 법칙이 있다. 예를 들어, mass, momentum, energy conservation 등과 같은 법칙들이다. 정상 상태, 비압축성 기체라 가정할 때 일반적인 물리량의 수송 방정식을 다음과 같은 형태로 나타낼 수 있다.

$$\text{div}(\rho V \phi_i - \Gamma_{\phi_i} \text{grad} \phi_i) = S_{\phi_i} \quad (2)$$

여기에서 V 는 속도 벡터(velocity vector)이고 Γ_{ϕ_i} 는 확산계수이다. S_{ϕ_i} 는 부력항(S_{buoyancy})을 제외한 비정상항, 압력구배등을 포함한 모든 source term을 나타낸다.

2.2.2 난류 모델

난류 유동은 매우 불규칙하고, 비정상 3차원 거동을 하므로 난류 유동과 관련된 유동 현상을 수치적으로 정확하게 예측하거나 설명하기는 어려워 고 레이놀즈수 유동에서 발생하는 난류의 물리량 수송방정식인 Navier-Stokes 방정식을 직접 풀 수는 없다[10]. 따라서 난류를 해석하기 위해 난류 모델을 도입하게 된다. 난류 모델 중 1974년 Launder와 Spalding에 의해 제시된 표준 $k-\epsilon$ 모델은 난류의 시간적으로 변동하는 속도가 시간 평균 속도와 변동분의 속도로 되어 있다는 가정하에 Navier-Stokes 방정식을 시간 평균하여 속도 변동량의 상관항이 응력 형태(Re 응력항 = 난류 점성 계수 \times 속도 구배)인 레이놀즈 응력항을 도출해 내고, 이는 분자점성에 의해 발생하는 전단 응력과 같은 형태로 난류를 가장 잘 표현하는 모델이라 할 수 있다[11].

표준 $k-\epsilon$ 난류 모델은 ‘난류 점성’을 난류 운동 에너지 k 와 난류의 소산률 ϵ , 이 두 가지 변수로 표현한다.

$$\mu_t = \frac{C_{\mu} \rho k^2}{\epsilon} \quad (3)$$

난류 점성 계수를 구하기 위해서는 난류 에너지와 소산률을 알아야 한다. 난류 운동 에너지(k) 방정식은,

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i k) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + G_k + G_b - \rho \epsilon \quad (4)$$

난류 소산률(ϵ) 방정식은 식 (5)와 같고 여기서 G_k 는 난류 생성항으로서 식 (6)과 같다.

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_k} \right] + C_1 \frac{\epsilon}{k} P - C_2 \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (5)$$

$$G_k = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \quad (6)$$

2.2.3 수치 해석 방법

본 연구에서는 상용 소프트웨어인 FLUENT를 사용하였고, 이는 난류 방정식들의 이산화 방법으로 유한체적법을 사용한다. 유한체적법은 적분 후에 이산화하기 때문에 항상 그 미소 영역내의 운동량 등의 출입을 고려하게 되어 보존 법칙을 확실하게 만족시키는 이산식을 얻을 수 있는 장점이 있다. 그리고 압력장을 구하기 위해 연속 방

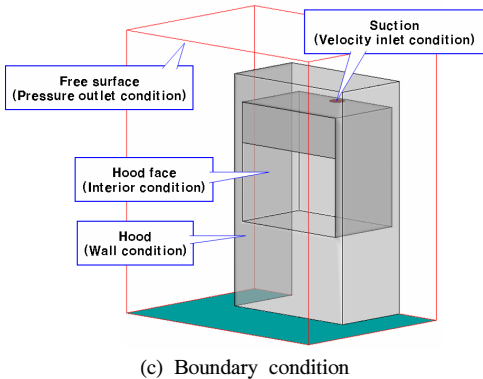
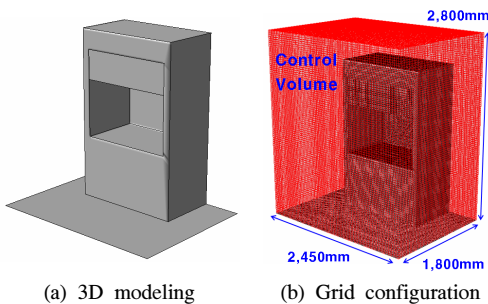
정식과 운동량 방정식을 조합시키는 방법으로 SIMPLE (Semi Implicit Method Pressure Linked Equations) 알고리즘을 사용하였다[10].

2.2.4 수치 해석 모델

1) 흡후드 기존 구조

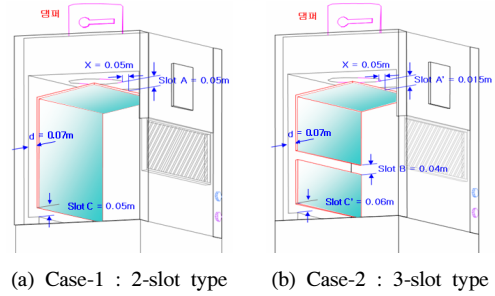
Fig. 4는 흡후드의 수치해석을 위해 실제 후드와 동일한 형상으로 3차원 모형을 구현한 것이며 격자 형상(grid configuration)도 함께 나타내었다. 본 연구에 사용된 총 격자수는 413,587개이다. 경계 조건으로는 Fig. 4(c)와 같이 배기구는 유량을 바로 결정할 수 있도록 속도 경계조건(velocity inlet)을 부여하였으며 실측 배기량에 따른 유속 값을 부여하였다. 제어체적을 구성하는 자유 표면은 미지 변수들의 변화량을 무시할 수 있는 조건인 압력경계조건을 부여하여 경계면에서의 물성치 변화는 고려하지 않았다. 단, 자유 표면에 압력경계조건을 적용하기 위해서는 자유 표면이 배기구와 같은 유체 유동이 심한 영역으로부터 충분한 거리 D 를 두고 주어져야 하므로 배기구(suction)와 자유 경계면까지의 거리는 아래 식 (7)의 거리에 만족할 수 있는 제어체적을 구성하였다[2]. 식 (7)에서 A 는 유동이 심한 영역인 배기구의 면적이다.

$$D=5A^{1/2} \quad (7)$$



[Fig. 4] Control volume and grid configuration of the 3 dimensional hume-hood.

2) 흡후드 개선 구조



[Fig. 5] Modified fume-hood equipped with baffle and slot

후드 개구면에서 균일한 배기흐름을 얻기 위해 Fig. 5와 같이 후드 안쪽 뒷벽에 배플을 설치하여 압력 충전용 플레넘(plenum) 역할을 할 수 있도록 하고, 슬롯 타입의 개구부를 만들어 상부 외에도 전방에서 배기가 가능토록 하였다. 슬롯 타입의 개구부는 2개(2-slot type, case-1)와 3개(3-slot type, case-2)로 구성하였다.

3. 결과 및 고찰

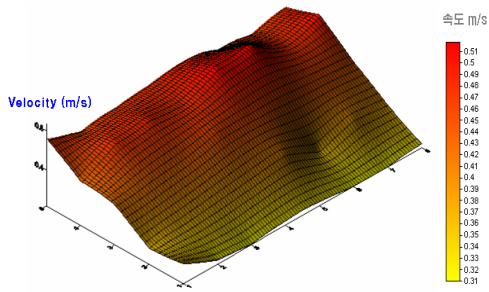
3.1 기존 구조 검증

3.1.1 흡후드 유속 측정

흡후드의 배기덕트에서 측정된 평균 유속은 약 12.7 m/s였고, 측정 단면적은 약 0.0314 m²(직경 ϕ 200 mm)로 흡후드의 배기량은 총 24 m³/min으로 평가되었다. 흡후드 개구면을 40등분하여 측정된 유속 분포 결과를 Fig. 6에서 볼 수 있듯이, 유속 분포는 0.31~0.52 m/s 수준으로 평균 0.4 m/s로 측정되었다. Fig. 6에서 볼 수 있듯이, 개구면 상부가 하부보다 상대적으로 유속이 높게 분포하는 것으로 평가되었다. 이는 배기덕트가 후드 상부에 설치되어 있어 덕트에 가까운 쪽이 배기력이 더 강하기 때문이다.

5	0.47	0.45	0.46	0.48	0.47	0.46	0.45	0.48
4	0.48	0.5	0.47	0.52	0.51	0.47	0.48	0.47
3	0.42	0.43	0.44	0.45	0.45	0.43	0.42	0.41
2	0.37	0.38	0.35	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35
1	0.32	0.31	0.31	0.32	0.32	0.31	0.32	0.36
	1	2	3	4	5	6	7	8

(a) Measured velocity in the hood face (m/s)

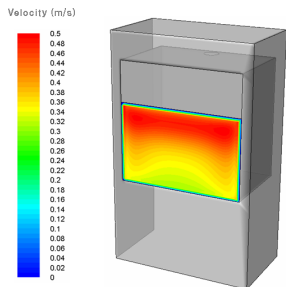


(b) Measured velocity distribution (m/s)

[Fig. 6] Measured velocity distribution in the existing fume-hood face

3.1.2 흡후드 유속 예측

흡후드 개구면 유속의 예측 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 유속 분포는 0.31~0.49 m/s 수준으로 예측되었고 앞서 측정 결과인 Fig. 6의 유속 분포와 매우 유사한 것을 알 수 있으며 역시 하부보다는 상부의 제어유속이 강하게 분포하여 불균형이 심한 것으로 예측되었다.



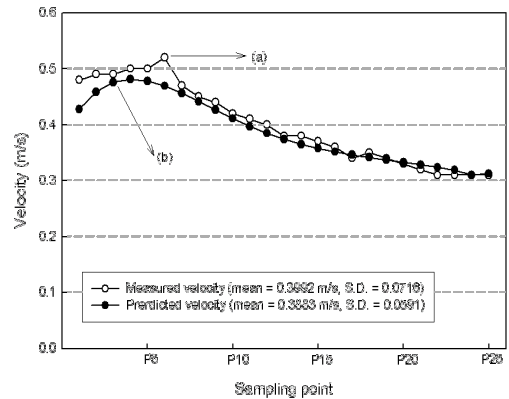
[Fig. 7] Predicted velocity distribution in the existing fume-hood face

3.1.3 측정치와 예측치 비교

Fig. 8(a)에 흡후드 개구면의 중앙을 기준으로 길이 방향으로 제어유속을 측정한 결과를 나타내었다. 측정 평균(RMS, Root Mean Square)을 기준으로 평가한 결과, 평균 유속 대비 최대 30% 수준으로 편차가 매우 큰 것으로 나타났으며, 상부 유속이 하부 유속보다 최대 68%까지 차이가 나는 것으로 평가되었다. Fig. 8(b)는 흡후드 개구면의 중앙을 기준으로 길이 방향으로 제어유속을 예측한 결과를 나타내었다. 예측 결과의 RMS는 최대 23%의 편차를 보였고, 구간별 유속 편차는 최대 58%까지 차이가 나는 것으로 예측되었다.

Fig. 8에서 볼 수 있듯이, 기존 흡후드에 대한 제어유속의 측정치와 예측치를 각각 비교한 결과 대부분 잘 일

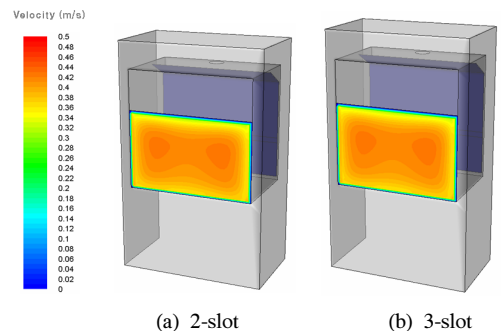
치함을 확인할 수 있었다. 단, 개구면 상부 및 일부 구간에서 다소 차이가 발생한 것은 측정장비의 정확도 한계 등에 기인한 결과라 판단된다. Fig. 8과 같이 제어유속이 상대적으로 낮은 개구면 하부에서 유해물질을 취급하게 되면 적절한 포집이 어려워 작업자가 노출될 수 있음을 예상할 수 있다. 특히 작업자가 흡후드 앞에서 앉아 작업할 경우 노출 가능성은 더욱 커질 것으로 판단된다. 그러므로 개구면 전체에 걸쳐 균일한 배기 흐름을 형성시켜 유해물질 발생원의 위치에 제약받지 않도록 구조 개선이 필요하다. 측정치와 예측치가 매우 잘 일치함에 따라 수치해석기법을 이용하여 구조 개선에 대한 유속의 불균형 해소 효과를 예측하였다.



[Fig. 8] Comparison of measured and predicted velocity in the existing fume-hood face

3.2 개선 구조 검증

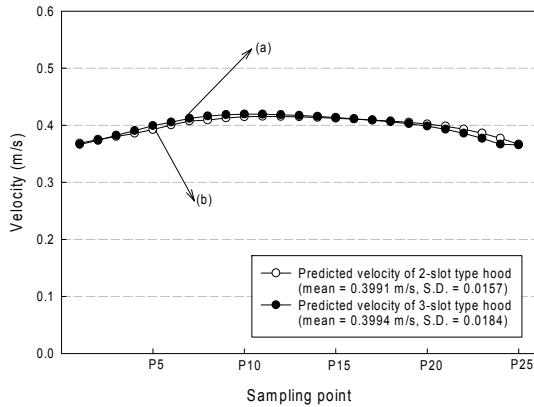
2-slot 및 3-slot형 배플 부착 흡후드 개구면 유속의 예측 결과를 Fig. 9(a)와 Fig. 9(b)에 나타내었다. 2-slot 및 3-slot형 배플 부착 흡후드 유속 분포는 모두 0.37~0.42 m/s 수준으로 예측되어 구조에 비해 제어유속의 불균형이 상당히 해소되었음을 확인할 수 있다.



[Fig. 9] Predicted velocity distribution in the modified fume-hood face

Fig. 10에 2-slot형(a) 및 3-slot형(b) 배플 부착 흡후드 개구면의 중앙을 기준으로 길이 방향으로 제어유속을 예측한 결과를 나타내었다. 2-slot형(a) 및 3-slot형(b) 모두 RMS는 최대 7%의 편차를 보였고 구간별 유속 편차는 최대 12% 차이가 나는 것으로 예측되어 기존 구조에 비해 제어유속의 불균형이 상당히 해소되었음을 확인할 수 있다.

Fig. 8과 Fig. 10에서 비교해 볼 수 있듯이, 흡후드의 구조를 개선하였을 경우 후드 입구에서의 제어유속이 많이 개선되는 것을 확인할 수 있다. 이에 기존 구조 대비 개선 구조의 효과를 비교하여 Table 1에 나타내었다. 기존 구조의 유속 편차는 RMS 기준 약 23% 수준으로 예측되었고, 구조 개선 시 RMS 기준 약 7% 수준으로 예측됨에 따라 기존 형상에 비해 제어유속의 불균형이 크게 해소되는 것으로 평가되었다. 또한, case-1(2-slot)과 case-2(3-slot)의 유속 분포는 거의 유사한 것으로 예측되어 slot의 수가 균일류에 미치는 영향은 그다지 크지 않음을 짐작할 수 있다.



[Fig. 10] Predicted velocity distribution in the modified fume-hood face.

[Table 1] Comparison of the improvement effect between existing hood and modified hood.

		유속 범위 (m/s)	RMS (max. %)	구간별 유속 편차 (max. %)
기존구조		0.31~0.49	23	58
개선 구조	case-1 2-slot	0.37~0.42	7	12
	case-2 3-slot	0.37~0.42	7	12

4. 결론

본 연구에서는 실험실용 흡후드에 대해 실측을 통해 문제점을 도출하고, 수치해석 기법을 이용하여 기류 유입 특성 및 유속 분포를 예측하였다. 후드 개구면에서의 균일류(uniform flow) 형성에 필요한 구조로 개선하였을 경우의 유동 특성을 예측하여 개선 효과를 검증하였다. 그 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 기존 구조의 흡후드 제어유속을 측정한 결과, 개구면 상부 유속이 하부 유속보다 최대 68%까지 차이가 남에 따라 후드 개구면에서의 유속 불균형이 매우 심한 것으로 평가되었다.
2. 기존 구조의 흡후드 제어유속을 예측한 결과, 구간별 유속 편차는 최대 58%까지 차이가 나는 것으로 예측됨에 따라 측정 결과와 유사한 패턴을 보였다.
3. 후드 개구면에서의 균일한 배기흐름을 얻기 위해 후드 안쪽 뒷벽에 배플을 설치하고 슬롯 타입의 개구부를 추가한 결과, RMS는 최대 7%의 편차를 그리고 구간별 유속 편차는 최대 12% 차이가 나는 것으로 예측됨에 따라 제어유속의 불균형이 상당히 해소되었음을 알 수 있다. 또한, 2-slot형과 3-slot형의 영향은 유사하게 예측됨에 따라 슬롯 개수가 균일류에 미치는 영향은 그다지 크지 않음을 짐작할 수 있었다.
4. 본 연구 결과를 통해 균일한 개구면 유속을 유지시킬 수 있는 방법을 검증 및 제시함으로써 작업자의 호흡영역 보호는 물론, 작업환경 개선에 도움이 될 수 있을 것이라 기대한다. 그러나 도어를 닫아 개구면적을 줄인 상태에 대한 와류 현상, 작업자의 손 및 신체 움직임에 따른 오염물질의 거동 현상에 대해서도 추가적인 연구가 필요하다.

References

- [1] American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), Industrial Ventilation Manual of Recommended Practice, 24th Edition, 2001.
- [2] Kumala, I., Advanced Design of Local Ventilation Systems, Finland, VTT Publications, 1997.
- [3] Robinson, M et al., Recommendations for the Design of Push-pull Ventilation Systems for Open Surface Tanks, Ann. occup. Hyg., 40:693-704, 1996.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/annhyg/40.6.693>

- [4] Riffat, S. B et al., CFD Prediction of k-factors of Duct Elbows, International Journal of Energy Research, 21:675-681, 1997.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-114X\(199706\)21:7<675::AID-ER287>3.0.CO;2-Z](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1099-114X(199706)21:7<675::AID-ER287>3.0.CO;2-Z)
- [5] Varley, J. O., The Effect of Turbulent Structures on Hood Design - A Review of CFD and Flow Visualization Studies, HVAC & R RESEARCH, vol. 3., 1997.
- [6] Patankar, S. V., Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, Hemisphere Publishing Corp, 1980
- [7] J.M. Berkoe, D.M.M.Lane, and B.M.Rosendall, Computerized fluid Dynamic(CFD) modeling, an important new engineering tool for design of smelting furnaces, 4th International Conference COPPER 99-COBRE 99, vol. 4, pp.53-66, 1999.
- [8] Kumala, I., The Effect of Contaminant Source Location on Worker Exposure in the Near-wake Region, Finland, VTT Publications, 1995.
- [9] Flynn and Ljungqvist, A Review of Qake Effects on Worker Exposure, Ann. occup. Hyg. 39:211-221, 1995.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/annhyg/39.2.211>
- [10] Hyun-Guk Myung, Computational Fluid Dynamics for Engineering, Han Mi publishing company, pp. 124-138, 1997.
- [11] Patankar SV, Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, Hemisphere Publishing Corp., 1980.

정 종 현(Jong-Hyeon Jung)

[정회원]



- 1999년 2월 : 부산대학교 환경공학(공학박사)
- 2008년 2월 : 대구한의대학교 보건학과(보건학박사)
- 2012년 2월 : 동국대학교 의학과(의학박사)
- 1996년 3월 ~ 2002년 2월 : 서라벌대 보건의료행정과 교수
- 2011년 3월 ~ 현재 : 대구한의대 보건학부 교수

<관심분야>

대기환경학, 산업보건학, 예방의학, 문화재보존과학

이 상 운(Sang-Woon Lee)

[정회원]



- 2000년 9월 ~ 2006년 12월 : 보람이엔티주식회사
- 2006년 6월 ~ 현재 : 인벤테크 대표
- 2012년 3월 ~ 현재 : 청수이앤씨주식회사 대표이사

<관심분야>

산업환경기술, 대기오염방지기술, 실험실환경기술

이 상 만(Sang-Mang Lee)

[정회원]



- 1990년 2월 : 대구한의과대학교 환경보건학과(이학사)
- 2007년 8월 : 경북대학교 역학 및 건강증진학과(보건학 석사)
- 2012년 9월 4일 ~ 현재 : 차의과학대학교 부속 구미차병원 건강관리센터 실장, 기술사

<관심분야>

산업위생공학, 산업위생관리, 유해위험성 평가

손 병 현(Byung-Hyun Shon)

[정회원]



- 1990년 2월 : 부산대학교 환경공학(공학사)
- 1994년 2월 : 부산대학교 환경공학(공학석사)
- 1997년 2월 : 부산대학교 환경공학(공학박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 환경공학과 정교수

<관심분야>

대기오염제어(탈황 및 탈질), 폐기물처리, 이산화탄소 흡수

이 정 희(Jeong-Hee Lee)

[정회원]



- 1985년 2월 : 경북대학교 기계공학(공학사)
- 1989년 8월 : 경북대학교 기계공학(공학석사)
- 1996년 3월 : Tohoku Uni. 기계학과(공학박사)
- 1997년 2월 ~ 1998년 2월 : 한국철도기술연구원 선임연구원
- 1999년 9월 ~ 현재 : 대구한의대학교 보건학부, 교수

<관심분야>

산업안전, 비파괴검사, 안전진단

정 유 진(Yu-Jin Jung)

[정회원]



- 2000년 2월 : 창원대학교 환경공학(공학사)
- 2002년 2월 : 창원대학교 환경공학(공학석사)
- 2002년 9월 ~ 2010년 3월 : 크린에어테크놀로지(주)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 씨이테크(주) 연구개발팀 수석연구원

<관심분야>

산업환기기술, 대기오염제어기술, 대기오염모델링