

# 산업용 집진기 내부 유동분포에 관한 수치해석

진도훈\*<sup>#</sup>

\*부산가톨릭대학교 산업보건학과

## Numerical Analysis of Flow Distribution in Dust Collector of Industrial Plant

Do-Hun Chin\*<sup>#</sup>

\*Catholic University of Pusan, Dept. of Industrial Health

(Received 25 June 2019; received in revised form 29 June 2019; accepted 13 July 2019)

### ABSTRACT

The purpose of this study is to analyze the flow of a system that collects fumes in the plasma cutting machine widely used in industrial sites. A plan for improving the fume collection facility of an industrial plant using a large plasma cutter was investigated through flow analysis. Results show that it is effective to capture and suck fumes from a nearby cutter. If more hoods were installed near the cutter, fumes that were scattered internally could be removed effectively. In addition, if suction inflow was increased, the fumes could be removed more effectively.

**Key Words :** Dust Collector(집진기), Numerical Analysis(수치해석), Hood(후드), Duct(배관)

### 1. 서 론

산업환기는 작업장의 공기 질을 개선할 목적으로 설치되고 있지만 작업환경개선의 근본적인 목적은 유해물질로부터 작업자의 건강을 보호하는 것이 주안점이 두어진다. 그 이유는 산업현장에서 발생하는 유기용제, 특정화학물질, 중금속, 분진, 화재 및 폭발물질 등에 작업자가 노출되지 않도록 하기 위해서 산업현장의 시설이나 물질을 교체하거나 완전 격리시키는 방법을 채택하고 있다.

현재 산업현장에서 적용되고 있는 국소환기의 경우 유해물질의 발생원으로부터 배출된 유해물질

이 작업장으로 환산되기 전에 포집하여 배출하는 환기방법을 많이 채택하고 있다. 개략적인 개념은 유해물질을 포집하는 후드(Hood)를 발생원 근처에 설치하고 덕트(Duct)를 통해 기계적인 힘으로 유해물질을 흡입하여 외부로 배출하여 작업환경을 개선하는 것을 말한다. 이러한 국소환기는 유해물질을 발생원 근처에서 미리 포집하여 제거하므로 유해물질로 오염된 작업장을 희석하여 제거하는 전체환기 시스템에 비해 환기효율이 좋다. 또한 국소배기시 필요한 송풍량이 전체환기시 필요한 송풍량에 비해 적기 때문에 경제적이며, 포집된 분진의 제거가 가능하다는 장점을 가지고 있다 [1-6].

이중섭<sup>[7]</sup> 등은 국소환기시스템에서 후드의 형상에 대한 수치해석을 통해 후드와 덕트를 연결하는

# Corresponding Author : chindh@cup.ac.kr

Tel: +82-51-510-0661, Fax: +82-51-510-0638



Fig. 1 Operation site of industrial cutting machine

리듀서의 형상과 덕트 각도에 대한 연구를 수행하여 후드와 덕트의 설계에 따라 흡입유량과 압력에 영향을 미치는 것을 확인한 바 있다. 따라서 국소환기 시스템의 경우 후드의 형상과 덕트의 연결 방법에 따라 국소환기의 성능이 달라질 수 있는 것을 확인함에 따라 본 연구의 경우 기존 설비에서 설치된 후드에서 흡입되는 유량변화 및 배관위치변화에 따른 유동분포를 수치해석하고자 한다.

## 2. 유동해석

### 2.1 유동해석 방법

유동해석 결과의 신뢰성 확보를 위해서는 해석모델의 적절한 모델링과 해석에 적절한 난류모델의 선정, 계산 격자의 신뢰성 확보가 필요하다. 이와 더불어 Solver의 선택 또한 계산 정확도에 미치는 영향이 크기 때문에 상용 S/W는 CD-adapco사의 STAR-CCM+를 사용하여 해석을 수행하였다.

### 2.2 지배방정식

본 연구에서는 덕트 내부를 흐르는 유동을 3차원 정상상태의 난류유동으로 가정하여 유동해석을 수행하였다. 집진기 덕트에서 속도분포 및 압력을 산출하기 위해서 사용된 지배방정식은 아래의 식(1)에서 (4)와 같이 연속 방정식과 운동량 방정식이며, 난류모델은 이미 산업계에서 타당성을 검증 받은  $k-\epsilon$  모델을 사용하였다<sup>[8-10]</sup>.

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j u_i) = \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_i} + S_u \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho_j k) = \frac{\partial}{\partial x_j} (\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}) \frac{\partial k}{\partial x_j} + u_t G - \sigma \epsilon \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} (\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon}) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} + \frac{\epsilon}{k} (C_1 \mu_t G - C_2 \rho \epsilon) \quad (4)$$

본 연구에 사용된 연속 방정식은 식(1)과 같이 나타낼 수 있으며, 운동량 방정식은 식(2)와 같이 나타낼 수 있다. 난류에너지 방정식은 식(3)과 같이 나타낼 수 있으며, 난류에너지 소산방정식은 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

### 2.3 수치알고리즘

수치해석 기법으로는 지배방정식에서 압력과 속도의 연결은 SIMPLE(semi-implicit method for pressure-linked equations)에 따른 Segregate Flow 알고리즘을 사용하였으며, 집진기 내부 유동해석을 해석하기 위해 다음과 같은 수치알고리즘으로 계산을 수행하게 된다. 해석결과를 취득하기 위한 수치해석의 환경은 정상상태에서 반복 계산 시 종속변수들의 수렴 판정은 출구 유량이 변하지 않고 안정적인 값으로 고정된 계산결과가 나타날 때와 정상상태에서 반복 계산 시 종속변수들의 수렴 판정은 잔차 값이  $10^{-3}$ 이하에 도달하면 수렴 판정의 기준으로 삼았다.

### 2.4 유동해석 대상

유동해석 대상 집진기모델은 Fig. 2과 같이 3D 모델링을 CATIA V5를 사용하여 3D 모델링하여 유동해석을 수행하였다. 본 연구에서 사용된 집진기는 현재 산업현장에서 사용되고 있는 기존 집진기를 개조하여 성능을 향상시키기 위함이며, 이로 인해 기존 설치된 시스템에서 흡입후드를 추가하

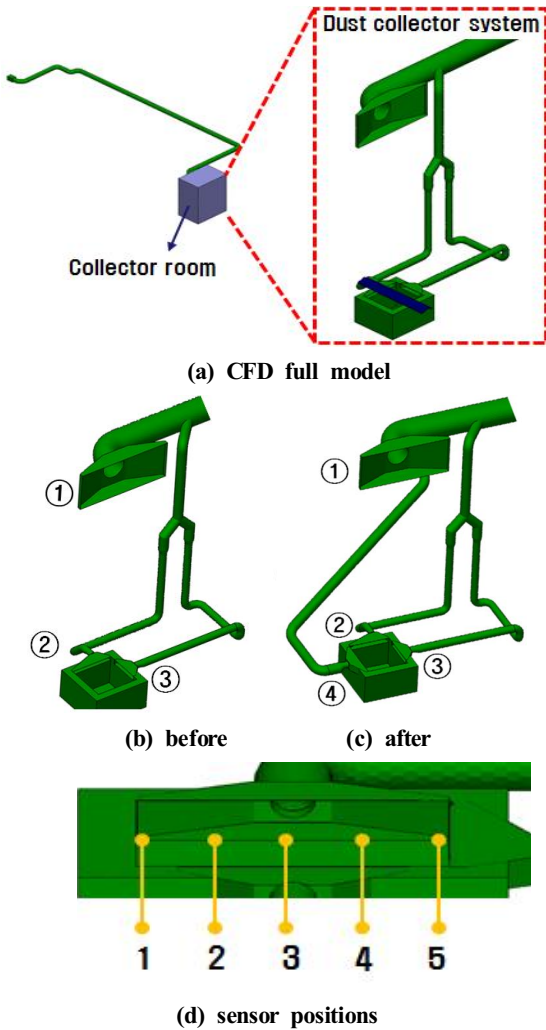


Fig. 2 CFD analysis models

고, 유량을 증가시켜 집진성능을 향상시키고자 하였다.

### 3. 유동해석 결과 및 분석

Fig. 3은 기존모델에 대한 유동해석 결과이며, 흡의 농도를 집진기 가동 시 발생하는 유동장의 해석결과로 입자추적한 것이다. 기존모델의 경우 집진기에 설치된 송풍기의 유량이 300CMM이며, 이 때 플라즈마 절단기에서 소지를 절단할 때 발

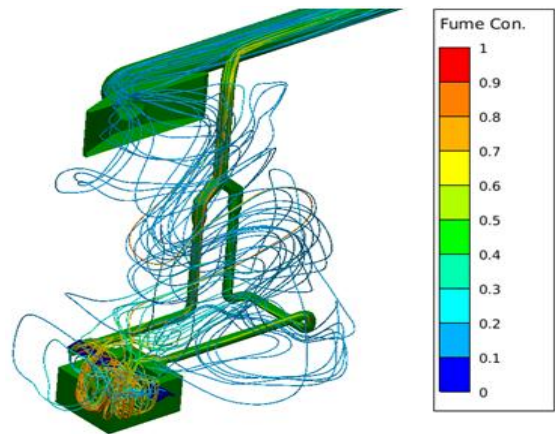


Fig. 3 Particle tracking at before system

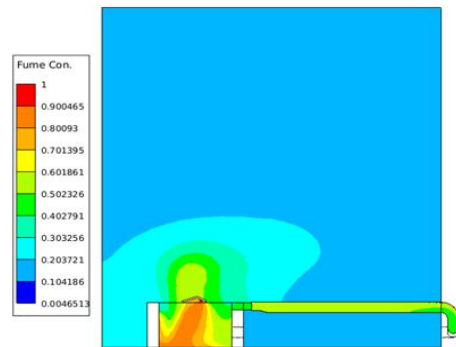


Fig. 4 Result of fume concentration contour in before system at center section

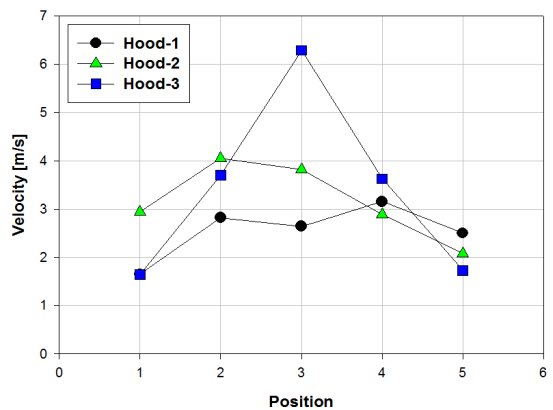


Fig. 5 Comparison of hood inlet velocity at before system

생되는 흡이 충분히 절단기 근처에 설치된 후드를 통해 제거되지 못하고 일부 비산하여 상부에 설치된 후드를 통해 빠져나가고 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 경우 작업장 내부에 확산되기 때문에 작업자의 환경조건에 악영향을 미칠 것으로 판단된다.

Fig. 4는 기존 시스템에서 절단기 중앙단면에서의 흡의 농도를 나타내고 있다. 그림에서 보는 것과 같이 절단기에서 발생하는 흡의 대부분은 인근 후드를 통해 빠져나가는 것을 확인할 수 있었고, 일부 비산되어 작업장에 확산되어 분포되고 있는 것을 확인할 수 있었다. 후드 입구에서 속도분포를 각각 Fig. 5와 같이 비교한 결과 3번 후드의 경우 중앙에서 속도가 약 6m/s 이상으로 높게 나타남을 확인할 수 있었고, 양 끝단으로 이동하면서 대칭적으로 속도가 감소함을 확인할 수 있었다. 반면 1번과 2번 후드의 경우 상대적으로 어느 한 지점에 집중되지는 않고 있었다.

Fig. 6은 기존 시스템에서 후드를 1개 더 추가한 모델에 대한 입자추적 결과를 나타내고 있다. 그림에서 보는 것과 같이 기존 시스템에 비해 흡이 후드로 많이 빨려 들어가는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 여전히 실내에 흡이 많이 비산되고 확산되는 것을 알 수 있었다.

Fig. 7은 중앙단면에서의 흡의 농도를 나타낸 것이다. Fig. 4와 비교할 때 상대적으로 작업장 내부의 흡 농도가 많이 저감된 것을 확인할 수 있었다. 이는 절단기 인근에서 흡을 바로 포집할 수 있는 후드가 추가 설치되었기 때문이며, 각 후드의 입구에서의 속도분포는 Fig. 8과 같이 작업장 상부에 설치된 1번 후드를 제외하면, 전반적으로 후드 입구로 균일하게 흡입되는 것을 알 수 있었다. 또한 후드가 추가 설치되었기 때문에 각 후드로 흡입되는 유속은 감소되는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 절단기 인근에 후드가 추가됨에 따라 흡입유속은 감소하였지만 상대적으로 흡을 효과적으로 제거할 수 있었다.

Fig. 9는 개선된 시스템에서 흡입유량을 300CMM에서 400CMM으로 증가시켰을 경우에 대한 입자추적 결과를 나타내고 있다. 그림에서 보는 것과 같이 흡입유량을 증가시킴에 따라 후드로 흡이 거의

흡입되는 것을 확인할 수 있었다.

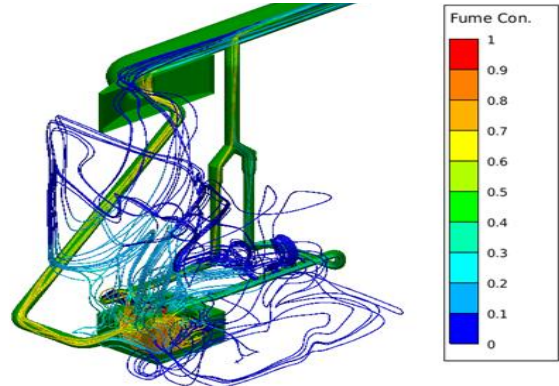


Fig. 6 Particle tracking at after system

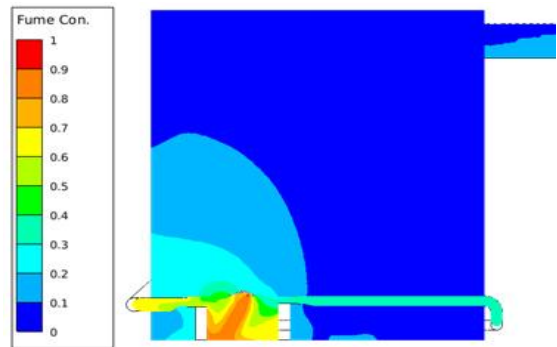


Fig. 7 Result of fume concentration contour in after system at center section

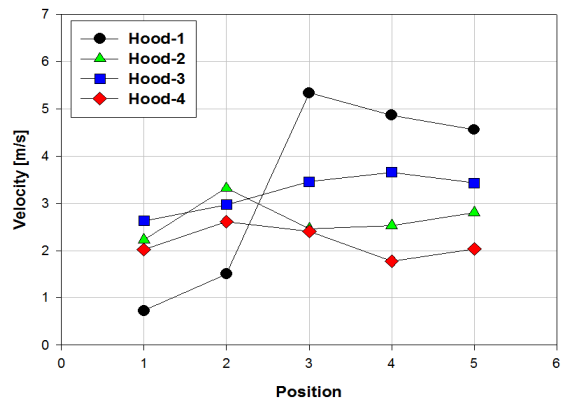


Fig. 8 Comparison of hood inlet velocity at after system

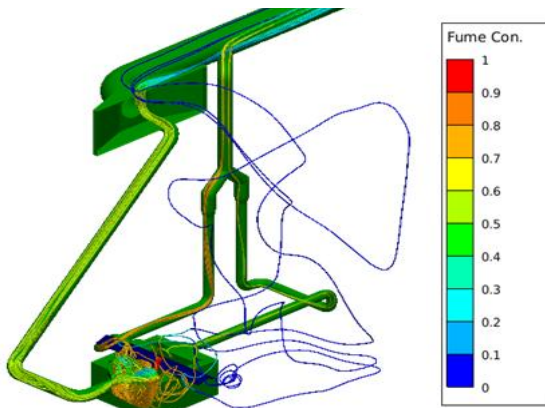


Fig. 9 Particle tracking for after system at 400CMM

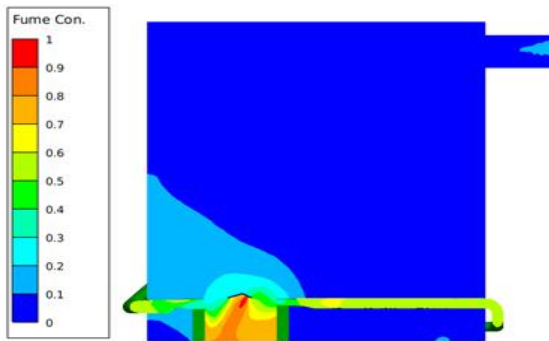


Fig. 10 Result of fume concentration contour in after system at 400CMM

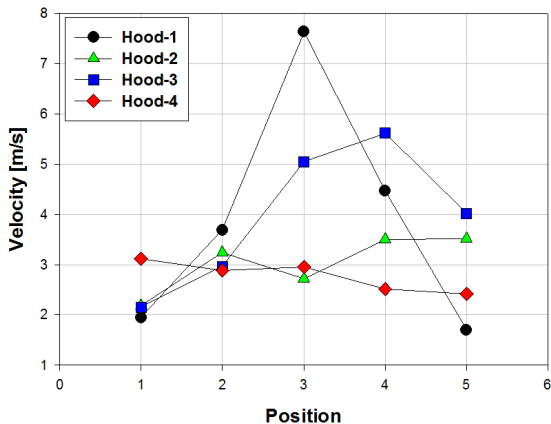


Fig. 11 Comparison of hood inlet velocity for after system at 400CMM

Fig. 10은 중앙단면에서의 흡 농도를 나타낸 것이다. 앞서 전술한 Fig. 7에 비해 작업장 내부의 흡 확산이 상대적으로 잘 억제되고 있는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 절단기 인근에 흡입후드를 추가 설치하고, 이에 따른 흡입유량을 증가시켰을 경우 흡의 집진성능이 향상되는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 11은 각 후드 입구에서의 흡입속도분포를 나타내고 있다. 흡입유량 300CMM일 경우에 비해 유량이 100CMM 증가하였기 때문에 후드에서의 속도분포는 다소 증가되는 것을 확인할 수 있었다. 이로 인해 상대적으로 흡이 작업장 내부에 비산 및 확산이 억제되어 후드로 잘 집진된 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

본 연구는 대형 플라즈마 절단기를 사용하는 작업장 내부의 흡 집진시설에 대한 개선방안을 유동해석을 통해 예측한 결과 절단기에서 발생하는 흡을 인근에서 바로 포착하여 흡입하는 것이 효과적임을 확인할 수 있었고, 후드의 개수가 절단기 인근에 증가 배치시킬 경우 작업장 내부에 비산되어 확산되는 흡을 효과적으로 제거할 수 있었다. 또한 흡입유량이 증가될 경우 흡의 제거는 더욱 효과적임을 확인할 수 있었다.

#### REFERENCES

1. Kim, B. G., Choi, H. W., Yong, H. T., and Lee, M. H., "Horizontal air-jet effect on the natural convection around a range-hood system", Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 17, No. 4, pp. 333-340, 2005.
2. Lim, K. B., Lee, K. S., and Lee, C. H., "A numerical study on the flow characteristics of kitchen hood system", Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 18, No. 4 pp. 359-369, 2006.
3. Lim, K. B., Lee, K. S., and Lee, C. H., "A numerical study on the characteristics of flow

- field, temperature and concentration distribution according to changing the shape of separation plate of kitchen hood system”, Transactions of the KSME B, Vol. 30, No. 2, pp.177-185, 2006.
4. Lee, S. S., Moon, J. H., Lee, T. G., Lim, Y. C., and Lee, J. H., “Improvement of working environment by the space ventilation system in a large welding factory”, SAREK winter conference, pp. 345-350, 2004.
  5. Koo, N. Y., Lee, Y. K., and Young, Y. S., “An experimental study on the air curtain range hood interrupting the diffusion of polluted air”, SAREK winter conference, pp. 382-387, 2002.
  6. Witt, P. J., Solnorda. IC, G., Mittoni, L. J., Finn, S., and Pluta, J., “Optimising the design of fume extraction hoods using a combination of engineering and CFD modelling, Applied Mathematical Modelling”, Vol. 30, pp. 1167-1179, 2006.
  7. Yi, C. S., Jang, S. C., Choi, J. H., “Numerical Analysis on Hood Shape Improvement of Local Ventilation System”, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 21, No. 4, pp.260-265, 2009.
  8. Lee, C. W., "A Numerical Analysis on Flow Characteristic in a Standard Cyclone Dust Separator," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 10, No. 5, pp. 97-103, 2011.
  9. Jang, S. C., "Flow and Structural Analysis at Welding Fume of Automatic Gantry Robot," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No. 6, pp. 158-163, 2012.
  10. Jang, S. C., Kim, J. W., Yi, C. S., “Numerical analysis on the inner flow characteristic for small smoke collector”, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 12, No. 5, pp. 67-75, 2013.