

플라즈마 절단기용 집진기의 내부유동 분포에 관한 수치해석

이 중 섭*, 서 정 세†, 윤 강 로**, 박 영 호***

*경상대학교 BK21사업단(철단기계) † 경상대학교 기계항공공학부, **삼원중공업(주), ***에스이엠(주)

A Numerical Analysis on Flow Distribution in the Fume Collector for Plasma Cutting Machine

Chung Seub Yi*, Jeong Se Suh†, Kang Ro Yun**, Young Ho Park***

*2nd Stage BK21(AMAEPP), Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea

† School of Mechanical & Aerospace Engineering, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea

**Samwon Tech Co.,LTD, 586-1 Gadongri, Hallimyeon, Gimhae, Korea

***SEM Co.,LTD, 583-1 Gadongri, Hallimyeon, Gimhae, Korea

ABSTRACT: This study is to see the internal flow for the plasma cutting fume collector. Plasma cutters are widely used in the canning industry and Fume cause the device because it will affect the performance of the design of dust collector. Therefore, to determine the distribution of the internal flow using CFD and Solver was used for calculated with commercial CFD code STAR-CCM+ .The results show that design of chamber was incorrect after passed the filter for exhaust to the fan. And the location of the duct to the influx of dust collector and the design was incorrect. In addition, an array of filter was also inappropriate. As a result, present fume collector need to improvement.

Key words: Cutting machine(절단기), Fume(흄), Collector(집진기)

1. 서 론

본 연구는 일반적으로 사용되는 플라즈마 절단기에서 적용하고 있는 흄 제거 장비인 카트리지 교환식 집진기에 대한 유동분포를 수치해석에 관한 내용이다. 실제 산업현장에서 널리 사용되고 있는 플라즈마 절단기는 별도의 흄 제거 장치가 설치되지 않을 경우 환기가 비교적 잘 되지 않는 표준 공장의 경우 흄이 비산됨과 동시에 공장내부로 확산되기 때문에 작업자의 호흡기 질환뿐만 아니라 비산 후 질량이 큰 입자성 물질의 경우 다시 바닥으로 가라앉기 때문에 공장 내 설치된 설비에 문제가 발생할 소지가 많다. 따라서 밀폐된 공간에서 유해가스 및 입자성 물질을 외부로

배출하는 것이 가장 적극적인 방안이라 할 수 있다. 목적에 따라 일반적인 건축물에서 사용되는 환기시설은 신선한 공기를 공급할 목적으로 환기시설이 필요하며, 병원등의 크린룸 및 무균실등은 환자 및 연구자를 감염이나 미생물로부터 보호할 목적으로 환기시설이 필요하다. 그러나 본 보고서에서 주목하고 하는 환기시설은 산업환기로 생산활동과 더불어 발생하는 유해물질, 오염물질등 작업환경을 악화시키는 물질을 작업공간으로부터 가능한 빨리 제거하는 시스템에 국한되어 있다. 산업환기는 작업장의 공기 질을 개선할 목적으로 설치되고 있지만 작업환경개선의 근본적인 목적은 유해물질로부터 작업자의 건강을 보호하는 것이 주안점이 두어진다. 그 이유는 산업현장에서 발생하는 유기용제, 특정 화학물질, 중금속, 분진, 화재 및 폭발물질 등에 작업자가 노출되지 않도록 하기 위해서 산업현장의 시설이나 물질을 교체하거나 완전 격리시키는 방법을 채택하고 있다.¹⁻⁴⁾

현재 국내-외적으로 생산시설 및 작업장에 대

† Corresponding author

Tel.: +82-55-751-5312; fax: +82-55-757-5622

E-mail address: jssuh@gnu.ac.kr

한 환기 시스템의 실험에 대한 고찰은 다수 있었고, 수치해석을 통한 기류분포의 예측과 농도 예측에 대한 연구는 미진하였다. 이와 유사한 문제로 일반 주택 및 식당의 환기시설에 관한 연구는 국내-외적으로 활발한 연구가 진행되고 있음을 확인할 수 있었다. 생활의 질이 향상됨에 따라 가정 내에서의 실내공기 질에 대한 관심이 증가하였고, 가전제품의 발달로 인해 자연스럽게 연구가 진행되고 있었다. 반면 산업환기에 대한 인식은 최근에 몇몇 업체들이 관심을 가지고 이에 대한 연구 및 실험이 일부 진행되었다.

구남열⁵⁾ 등은 가정용 후드에서 오염공기 확산방지 에어커튼 렌지후드의 실험적인 연구에서 에어커튼을 적용할 경우 실내의 온도와 습도변화는 50 % 감소하며, 급기량 풍속이 증가하면 배기 풍속의 증가량은 30 % 가량 더 증가하여 실내오염공기 확산방지 및 배출에 유리하다고 보고하였다. 또한 실내공기의 환기성능이 평균 1.63배 높아진다고 하였다.

이상섭⁶⁾ 등은 국내 조선소 내 초대형 용접작업장의 작업환경 개선을 위해 수치해석을 적용하여 용접장의 내부 환기 시스템에 대한 기류와 흡 농도에 대한 연구를 수행하였다. 그 결과 공간환기 시스템이 정지한 경우 작업장 내부 공간에는 자연환기에 의한 기류가 유입되나 작업공간의 대부분 영역에서 흡 농도가 50 ppm 이상 발생하였지만, 환기 시스템 가동시 2.3~8.3 ppm으로 현저히 감소되었다고 보고하였다.

P.J.Witt⁷⁾ 등은 CFD를 이용하여 흡을 배출시키는 후드의 최적형상에 대한 연구를 수행하였다. 다른 선행 연구자들은 실내의 오염물질을 신속하고 효과적으로 배출시키는데 중점을 두었다면 Witt는 후드 내부까지 흡입되는 것을 고려하여 후드의 형상을 최적화 시키고자 하였다. 그가 제안한 후드의 경우 충전포트로부터 달아나는 흡 농도를 65 % 저감시킬 수 있다고 보고하였다. 현재 플랜트 관련 업계의 경우 메이저 급 회사를 제외한 대다수 마이너 급 플랜트 회사의 경우 그 설계 및 접근방법이 현장경험과 과거 유사 설비에 대한 역설계 및 1차원적이고 보간식에 근거하여 설계 및 시공을 수행하고 있다. 이러한 경우 기본적인 성능 및 제품에 대한 품질은 만족할 수 있을지도 모른다. 그러나 기하학적 형상의 변화에 대한 공학적인 타당성 검사가 결여될 경우 예

상치 못한 오류를 범할 수 있는 내재적 오류를 안고 있음을 설계자는 인지하고 있어야 된다. 이러한 경우를 대비하기 위해 기존 설계방식의 경우 과대 설계를 하게 되고 이로 인한 손실은 굳이 서술할 필요성이 없겠다. 이러한 오류를 미연에 감지하고, 과대 설계된 부분의 살빼기 및 최적설계를 도출하기 위해 현행 시스템 중 흡입 후드에 국한하여 현 상태를 전산유체역학(CFD)을 도입하고자 한다. 이러한 최신 설계기법으로 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하여 현재 적용중인 플라즈마 절단기용 집진기 내부 유동현상을 고찰 및 탐구하여 최적형상을 도출하여 추후 개발 제품에 적용하고자 한다.

Fig. 1은 현재 산업체에서 널리 사용되는 플라즈마 절단기이며, 형 절단시 발생하는 흡을 보여주고 있다. 대부분 절단기는 실내에 설치되어 있고, 작업장 전체에 대한 환기시설 보다 흡이 발생하는 부분에 국소환기 시설을 설치하여 효과적인 흡 제거방법을 많이 채택하고 있다.



Fig. 1 Plasma cutting machine

2. 수치해석 방법

2.1 지배방정식

본 연구에서는 플라즈마 절단기용 집진기 내부 유동에 대하여 기술하는 지배방정식에 대하여 3차원 정상상태의 난류유동으로 가정하였으며, 공기유동에 관한 연속 방정식, 운동량 방정식, 난류 운동에너지 방정식 그리고 난류운동량 소산 방정식이 함께 계산되었다. 난류모델은 이미 공학적으로 타당성을 검증 받은 표준 $k-\epsilon$ 모델을 사용하였다. 식(1)~식(4)는 본 연구에 사용된 지배방정식을 나타내고 있다.

□연속 방정식

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

□운동량 방정식

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

□난류에너지 방정식

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

□난류에너지 소산방정식

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

2.2 경계조건 및 모델링

실제 플라즈마 절단기에 설치되는 국소환기 설비 전체에 대한 해석은 수행하지 않고, 흡을 이송하는 덕트에 대기로 가정하였다. 또한 흡의 배출은 송풍기 입구에서 125CMM의 유량이 빠져나가는 것으로 가정하였으며, 필터의 경우 $180l/cm^2 \cdot s$ 의 통기도를 가지고 있는 조건을 부여하여 다공성 물체로 가정하여 압력차에 의한 유동이 발생할 수 있도록 하였다. Fig. 2는 실제 산업에 적용되고 있는 플라즈마 절단기용 흡 집진기를 보여주고 있다. CFD 해석을 위해 CATIA V5를 사용하여 유동부분만 Fig. 3과 같이 플라즈마 절단기용 집진기의 CFD 모델을 완성하였다.



Fig. 2 Fume collector for plasma cutting machine.

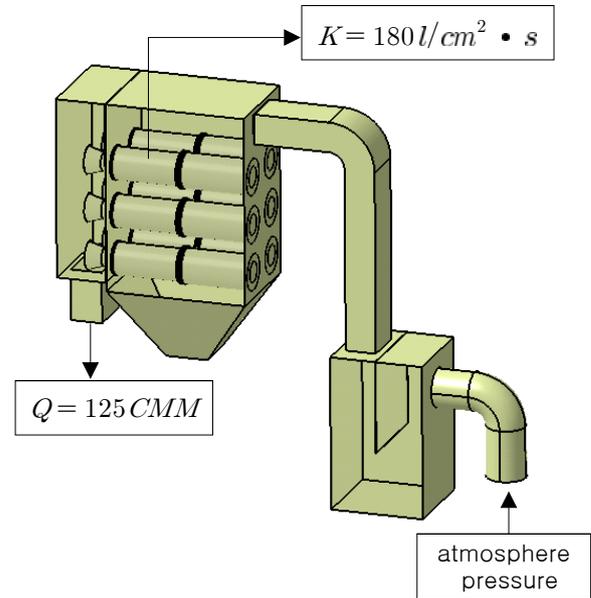


Fig. 3 CFD modeling of fume collector.

3. 수치해석 결과 및 분석

플라즈마 절단기용 흡 집진기의 유동해석에 대한 CFD 결과는 다음과 같다.

Fig. 4는 흡 집진기 내부 유동에 대한 입자추적 결과를 나타내고 있다. 관성충돌 집진기를 거쳐 주 집진기로 빠른 유속으로 유입되어 집진기 전체로 분산되어 필터를 거쳐 토출 챔버로 빠져나가는 것을 확인할 수 있었다. 또한 관성충돌 집진기에서 격판에 유동이 부딪치면서 유속이 감소하기 때문에 중량이 비교적 큰 입자들은 관성충돌 집지기 하부에 퇴적될 것으로 판단된다.

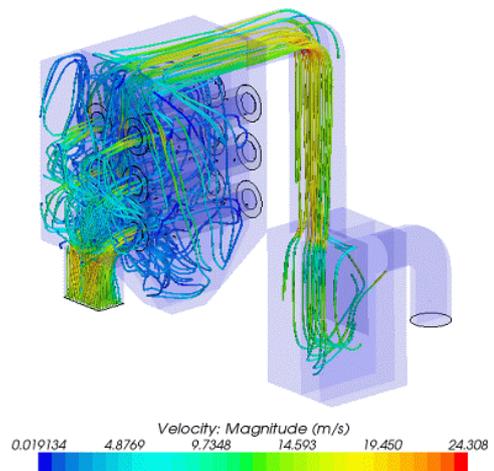


Fig. 4 Result of piratical tracking in fume collector.

또한 여과필터 집진기 내부는 Fig. 5와 같이 속도분포를 살펴보면 필터에 저항이 발생되기 때문에 속도가 필터에서 속도가 급격히 감소함을 확인할 수 있다. 필터를 통과한 후 토출 챔버로 빠져나가면서 유속이 다시 증가함을 확인할 수 있었다. 여기서 토출 챔버의 경우 상부쪽은 유동이 정체되어 있는 것을 확인할 수 있었고 필터에서 빠져나온 유동이 토출 챔버의 벽면에 부딪히는 구조로 되어 있기 때문에 토출 챔버 내부 유동이 복잡해지고 유속 또한 감소되어 결국 토출저항이 증가할 것으로 판단되었다. 따라서 토출챔버의 경우 Fig. 6과 같은 형태로 필터에서 빠져나온 유동이 저항을 받지 않고 송풍기로 유입될 수 있도록 개선되어야 할 것으로 사료된다.

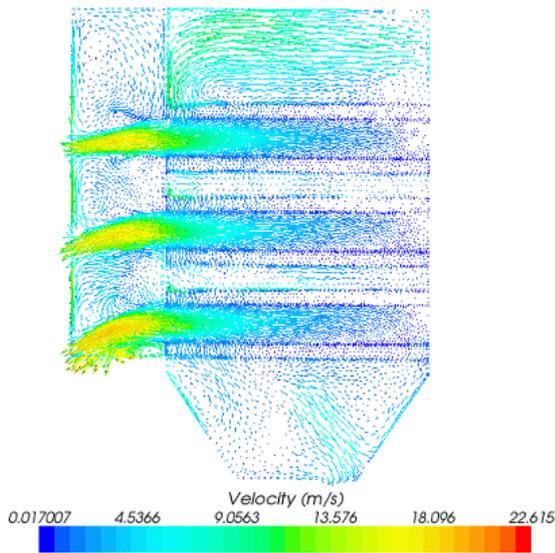


Fig. 5 Distribution of velocity vector in fume collector at side view

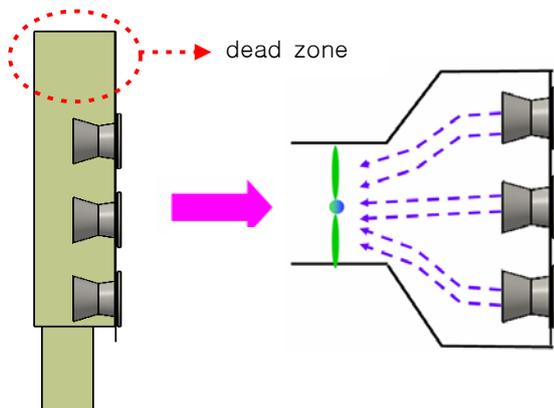


Fig. 6 Reform measure of outlet chamber.

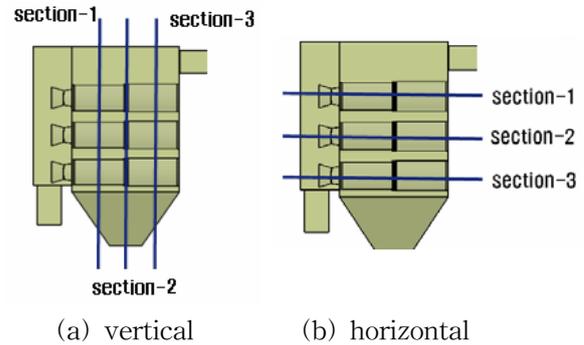


Fig. 7 Section positions in fume collector.

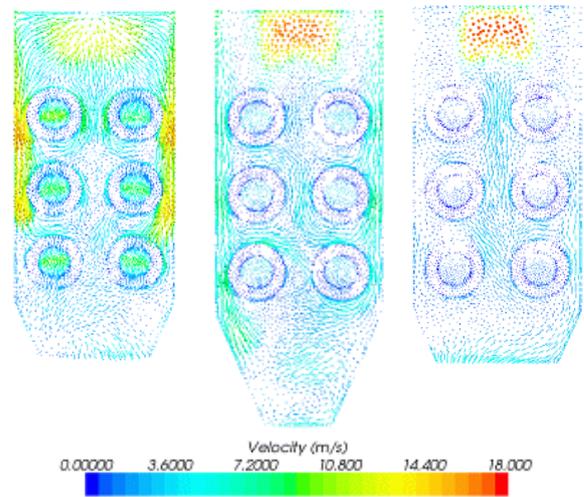


Fig. 8 Distributions of velocity vector at side vertical section view.

Fig. 7은 필터를 중심으로 수직방향과 수평방향에 대하여 결과분석을 위한 단면을 나타낸 것이고, Fig. 8은 수직방향 단면에 대한 속도분포를 나타내고 있다. section-1의 경우 주 집진기 상부에서 흡입되기 때문에 흡입 덕트 반대편으로 이동하여 벽면과 충돌 후 집진기 하부로 유동이 확산된다. 따라서 집진기 하부로 이동하는 속도가 커지고 section-3과 같이 멀어질수록 속도가 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 필터로 유입되는 속도 또한 유입 덕트 반대쪽이 빠르기 때문에 필터를 통과하는 유량이 증가하게 된다. 따라서 유입 덕트 반대쪽의 필터부위가 보다 빨리 눈막힘 현상이 발생할 것으로 예측된다. 이는 필터를 효과적으로 사용되지 못하고 있어 유입 덕트의 위치와 형상이 변경되어야 될 것으로 판단된다. 또한 Fig. 9와

같이 수평방향 단면의 속도분포의 경우도 마찬가지로 유입 덕트 반대쪽의 유속이 비교적 높게 나타나며 필터를 통과하여 토출 챔버 입구에서 속도가 증가하기 때문에 유량이 증가하게 된다. 따라서 자연스럽게 유입 덕트 반대쪽의 필터로 흡이 제거되는 영역이 넓어지게 되어 필터 눈막힘 현상이 빨리 발생될 것으로 사료된다. 또한 토출 챔버도 앞서 설명된 Fig. 5와 마찬가지로 수평방향에서도 양쪽으로 유입되는 유동속도와 중앙의 속도편차로 인한 유동 재순환 영역이 발생되므로 송풍기 입구에서 압력변동이 예상되며 결국 송풍기 자체의 진동에 많은 영향을 줄 것으로 예상된다. 따라서 Fig. 10

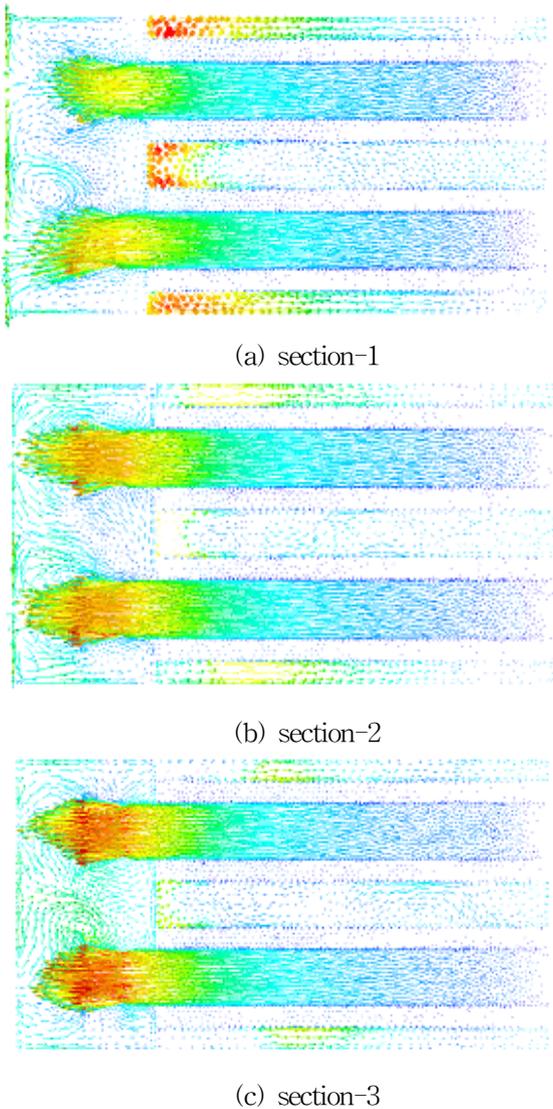


Fig. 9 Distributions of velocity vector at side horizontal section view.

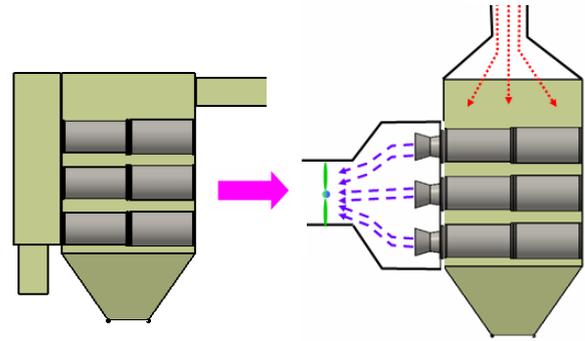


Fig. 10 Improve design of inlet duct position and shape.

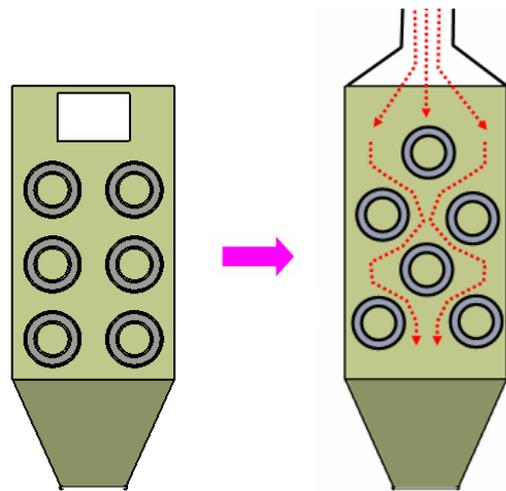


Fig. 11 Improve of filter arrangement in fume collector.

과 같이 주 집진기의 유입구 형상과 위치의 개선이 필요할 것 판단된다. 결국 주 집진기의 유입구와 토출구 형상과 위치를 유동적인 측면에서 저항이 발생되지 않는 구조로 적절하게 개선할 필요성이 제기된다. 또한 Fig. 11과 같이 필터의 배열도 필터의 여과면적을 최대한 활용할 수 있도록 유동적인 측면에서 지그재그 배열이 필요할 것으로 사료된다. 이는 필터의 여과 면적을 최대한 활용하기 위한 것이며, 이로 인한 집진기 효율증가와 운전시 필터 사용 수명이 길어질 것으로 기대된다.

이외에도 관성충돌 집진기의 경우 격판이 설치되어 있어 흡입 저항이 발생하는 구조를 가지고 있으며, 주 집진기 유입구가 상부에 설치되어 있어 덕트가 수직으로 설치되다가 유입구에서 90° 각도로 변경되기 때문에 압력손실이

추가 발생하는 구조를 가지고 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 유입과 토출이 원활하게 될 수 있는 구조적인 개선이 필요할 것으로 사료된다.

4. 결 론

산업현장에 널리 사용되고 있는 형 절단장치인 플라즈마 절단기용 흡 집진기에 대한 유동해석 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 토출 챔버의 경우 필터에서 송풍기까지 작동유체의 흐름이 원활하게 배출되는 구조가 아님을 알 수 있었다. 따라서 토출 챔버의 구조를 유체 흐름에 용이하도록 개선안을 찾을 수 있었다.

(2) 주 집진기 유입구의 위치와 구조가 여과필터에 골고루 포집될 수 없는 구조를 가지고 있음을 알 수 있었다. 따라서 유입구 위치와 구조를 여과필터에서 효과적으로 포집할 수 있도록 개선안을 찾을 수 있었다.

(3) 여과필터의 활용도를 높이기 위해 기존의 정렬위치가 부적합한 것을 알 수 있었다. 따라서 여과필터의 여과면적을 효과적으로 사용할 수 있도록 배열방법에 대한 개선안을 찾을 수 있었다.

(4) 미세먼지를 제거하는 주 집진기 이전에 큰 이물질을 제거하는 관성 충돌 집진기의 위치가 낮기 때문에 주 집진기로 연결되는 덕트 길이가 길어지고 방향이 전환되기 때문에 덕트 내부 압력손실이 추가적으로 발생하는 구조를 가지고 있었다.

후 기

본 연구는 경상대학교 2단계 BK21 사업과 지역인력양성사업에 의한 지원과 삼원중공업(주)와 에스이엠(주)의 기술지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. B. G. Kim, H. W. Choi, H. T. Yong, M. H. Lee, 2005, Horizontal air-jet effect on the natural convection around a range-hood system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 4, pp.

333-340.

2. K. B. Lim, K. S. Lee, C. H. Lee, 2006, 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, KSME B, Vol. 30, No.2, pp.177-185.

3. K. B. Lim, K. S. Lee, C. H. Lee, 2006, A numerical study on the flow characteristics of kitchen hood system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 18, pp. 359-369.

4. N. Y. Koo, Y. K. Lee, Y. S. Young, 2002, An experimental study on the air curtain range hood interrupting the diffusion of polluted air, SAREK winter conference, pp. 382-387.

5. S. S. Lee, J. H. Moon, T. G. Lee, Y. C. Lim, J. H. Lee, 2004, Improvement of working environment by the space ventilation system in a large welding factory, SAREK winter conference, pp. 345-350.

6. P. J. Witt, C. G. Solnordal, L. J. Mittoni, S. Finn, J. Pluta, 2006, Optimising the design of fume extraction hoods using a combination of engineering and CFD modelling, Applied Mathematical Modelling, Vol. 30, pp.1167-1179.