

선박용 주방후드 환기시스템에 관한 수치해석

이중섭*:#

*경남과학기술대학교 산학협력단

Numerical Analysis of the Kitchen Hood Ventilation System for Marine Environment

Chung-Seob Yi*:#

*Industry-Academic corporation foundation, Gyeognam National University of Science and Technology

(Received 5 July 2015; received in revised form 30 July 2015; accepted 3 August 2015)

ABSTRACT

This study regards distributions of flow in the ventilation system used in the kitchen hood in a ship. In this study, for describing the flow in the ventilation system, three-dimensional steady-state turbulence was assumed for the governing equation. When the plume was formed, three gases, CO, CO₂, and HCL, in the flow field of the hood were considered as the plume, and it was assumed that the sum of concentrations of the gases was 100%. As a result, it could be confirmed that the plume was smoothly discharged when the flow rate of the supply was ten times lower than that of the exhaust.

Key Words : Kitchen Hood(주방후드), Ventilation(환기), Plume(플룸), CFD(전산유체역학)

1. 서 론

본 연구는 선박에서 사용하는 주방후드에 관한 환기시스템에 관한 것으로 주방 전체의 환기시설에 관한 공기 질의 개선이 목적이 아닌 주방에서 발생하는 오염물질 이나 조리중 발생하는 가스상 물질에 관한 국소환기시스템에 관한 연구이다.

국소환기라 함은 유해물질의 발생원으로부터 배출된 유해물질이 작업장으로 확산되기 전에 포집하여 배출하는 환기방법인데 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. 따라서 주방후드관련 선행연구자들의 연구결과를 분석한 결과 구남열^[1]등은 가정용 후드에서 오염 공기 확산방지 에어커튼 렌지후드의 실험적인 연구에서 에어커튼을 적용할 경우 실내의 온도와 습도변화는 50% 감소하며, 급기량 풍속이 증가하면 배기 풍속의 증가량은 30% 가량 더 증가하여 실내오염 공기 확산방지 및 배출에 유리하다고 보고하였다. 또한 실내공기의 환기성능이 평균 1.63배 높아진다고 하였다.

Corresponding Author : cysi@gntech.ac.kr

Tel: +82-55-751-3865, Fax: +82-55-751-3631

박진철^[2]은 상업용 주방후드의 배기성능 개선방안에 관한 연구에서 배기전용후드와 동시 급-배기형 후드를 대상으로 급기방식이나 급기풍속, 배기풍속에 따른 국소배기효율과 실내온도분포를 실험을 통해 배기성능을 확인한 결과 배기전용 후드에 비해 동시 급-배기형 후드의 성능이 우수하며, 후드의 적정 배기풍속은 국소배기효율과 실내온도분포를 감안할 경우 0.48~0.55m/s의 범위가 적절하다고 보고하였다.

이근우^[3]등은 Capture Air Ventilation 시스템의 풍량변화에 따른 성능연구에서 주방 환기를 위해 오염물질과 열이 실내로 확산되는 것을 방지하기 위해 주방천정에 국부적으로 오염물질을 가두어 급-배기를 동시에 수행하여 오염물질의 포집효율에 대하여 실험과 수치해석을 통해 효과적인 환기 시스템을 연구하였다. 그 결과 기존 배기 시스템에 비해 동시 급-배기시스템을 채택할 경우 열-포집효율은 12.4%, 350CMH는 10.3 %의 효율증가를 가져다 줄 수 있으며, 가스 포집효율은 1 %의 작은 효율증가가 있었다고 보고하였다.

임경빈^[4]등은 주방용 후드시스템의 분리판 형상변화에 따른 유동장, 온도 및 농2도특성에 관한 수치적 연구에서 실내 공기의 질을 향상시키기 위한 방법으로 후드 내에 분리판을 설치하여 그 형상에 대한 유동특성을 분석하여 효과적인 후드 시스템의 설계인자를 도출하고자 하였다. 그는 무조건적인 팬의 속도를 증가시키기보다 적절한 팬의 속도에서 오염물질을 효과적으로 배출하는데 그 주안점을 두었다고 밝혔고, 그 결과 분리판을 설치할 경우 열과 오염물질의 확산을 효과적으로 저감시킬 수 있으며, 분리판이 없을 경우에 비해 실내공기 온도는 약 1.4~1.9%, CO₂의 농도분포는 9.4~11.9%가량 개선효과가 있다고 밝혔다. 또한 분리판을 설치할 경우 급기구 우측영역에서 순환영역이 상당히 소멸되고, 싱크 상면부에서의 유동이 대부분 분리판 뒤쪽으로 향하고 있기 때문에 잉여 열과 오염물질의 확산을 방지할 수 있다고 보고하였다.

김상규^[5]등은 주방용 후드 수평급기의 최적속도 결정에 관한 연구에서 후드만 작동될 때보다 수평

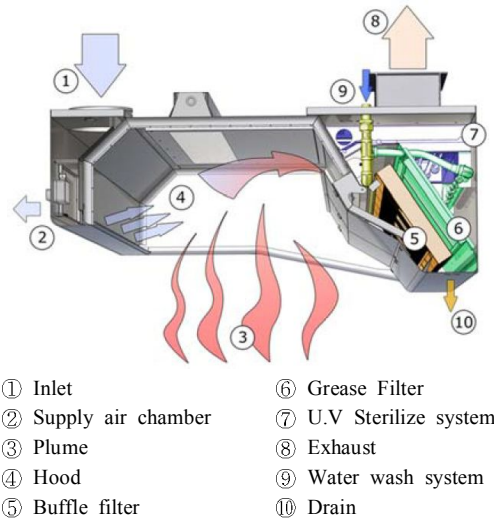


Fig. 1 Schematic diagram of kitchen hood system

급기를 같이 작동할 때 실내로의 열확산을 줄일 수 있다고 하였다. 급기의 영향으로 인한 코안다(Coanda)효과에 의해 정체되는 유동에 의해 후드 앞단에 와류를 생성시켜 밖으로 빠져나가는 기류를 막아주는 에어커튼의 역할을 한다고 보고하였다.

본 연구는 급기-배기 국소환기 시스템을 기본적으로 적용하고 있으며, 배기쪽 챔버에 관성충돌 집진기 형태의 격판(Baffle)이 설치되어 점성이 높은 기름 또는 수분을 1차 제거하고, 필터를 통해 2차 제거되는 구조를 가진 환기시설에 관한 유동을 수치해석을 통해 기류분포를 확인하고자 한다.

2. 해석모델 및 경계조건

2.1 수치해석 모델

본 연구에서는 주방후드 환기시스템에 대한 유동현상을 기술하는 지배방정식에 대하여 3차원 정상상태의 난류유동으로 가정하였고, 지배방정식에서 압력과 속도의 연결은 SIMPLE 알고리즘에 따른 Segregate Flow 알고리즘을 적용하였다. 본 연구를 위해 적용되는 수치해석 코드인 STAR-CCM+는 후드내부를 해석하기 위해 다음과 같은 수치알고

리즘으로 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.

2.2 경계조건

주방후드의 환기조건은 급기 팬에서 송풍되어 후드로 공급되고, 배기 팬에서 후드 내부의 오염물질을 흡입하여 외부로 배출되는 구조로 되어 있다. 주방후드의 급-배기 유량은 Table 1과 같다. 또한 좌우 대칭구조를 가지고 있기 때문에 절반만 모델링하여 대칭조건을 부여하여 계산을 수행하였다.^[6]

Plume이 발생할 경우 후드 내부에 발생하는 유동장 및 Plume에 대한 농도 CO, CO₂, HCL에 대한 3종 가스를 Plume으로 설정하고, 이에 대한 농도를 백분율로 설정하여 총 합이 100%가 되도록 가정하였고, CO 40%, CO₂ 50%, HCL 10%로

가정하여 후드 하부 중심에서 발생하는 조건을 가정하여 수치해석을 수행하였다.

Table 1 Inlet and outlet boundary conditions

	model-1	model-2
Inlet (supply)	1,750 m ³ /hr	306 m ³ /hr
Outlet (exhaust)	3,500 m ³ /hr	3,060 m ³ /hr

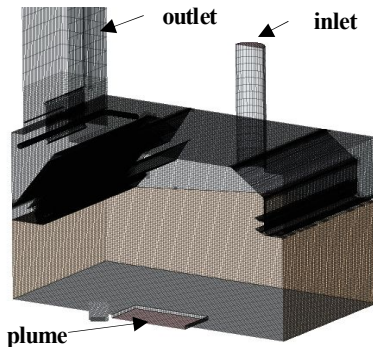


Fig. 2 Mesh system of kitchen hood

3. 유동해석 결과 및 고찰

3.1 Plume 기류분포

선박용 주방후드 환기시스템에 대한 유동해석을 수행한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다. Fig. 3은 입-출구 유량별 모델에 대한 Plume의 분포를 나타내고 있다. X-Y 좌표에서 바라보았을 때 model-1의 경우, Plume이 후드로 일부분만 빨려나가 후드 안쪽에 보다 많은 양의 Plume이 퍼져있는 것으로 보아 배출이 원활하지 않는 것으로 나타났다. 이는 당초 급기유량을 배기유량의 절반으로 설계하였으나 유동해석에서 급기유량이 높은 것을 확인할 수 있었다. 따라서 model-2는 급기유량을 10배 낮추어 유동해석을 수행하였다. 그 결과 model-2의 경우 Plume의 밖으로 빠져

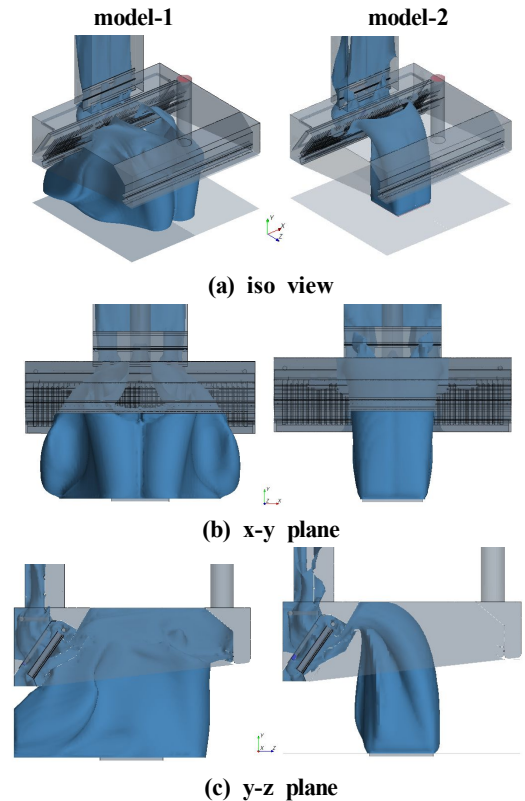


Fig. 3 Plume distributions of iso-surface

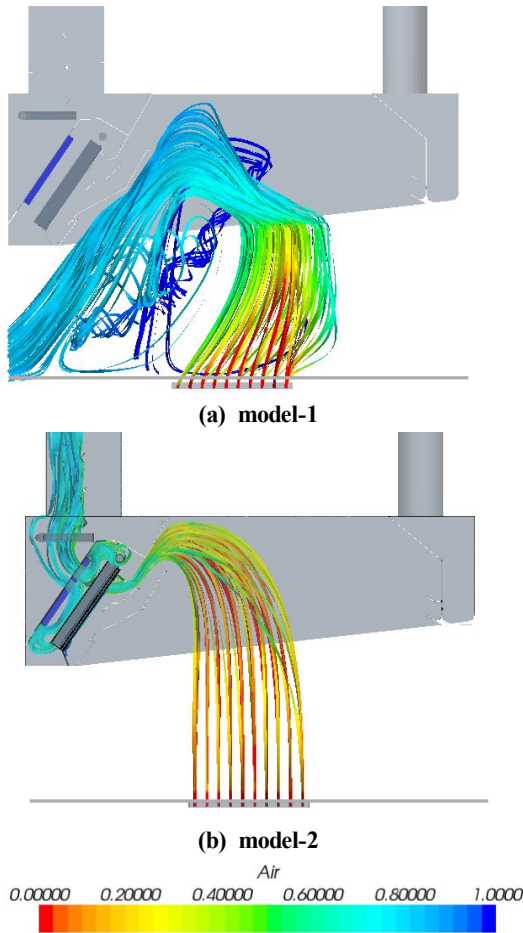


Fig. 4 Comparison of stream line

나가지 않고 배출되는 것을 확인할 수 있었다. (c)와 같이 Y-Z 좌표에서 바라보았을 때 model-1의 경우 Plume이 후드 상부에 퍼져 있었고 배기부의 입구에 설치된 격판에 막혀 출구쪽으로 몰아넣지 못하고 외부로 빠져나가는 것을 확인할 수 있었다. 반면 model-2의 경우 Plume이 후드 상부로 상승하다가 급기 흡에서 분사되는 유동장의 영향을 받아 출구쪽으로 Plume을 몰아주는 것을 확인할 수 있었다. 또한 격판에 부딪치지 않고 배기쪽으로 모두 빨려나가고 있는 것으로 급기와 배기 유량 조건이 만족한 것으로 판단된다.

Fig. 4는 Plume에 대한 유선분포를 나타내고 있

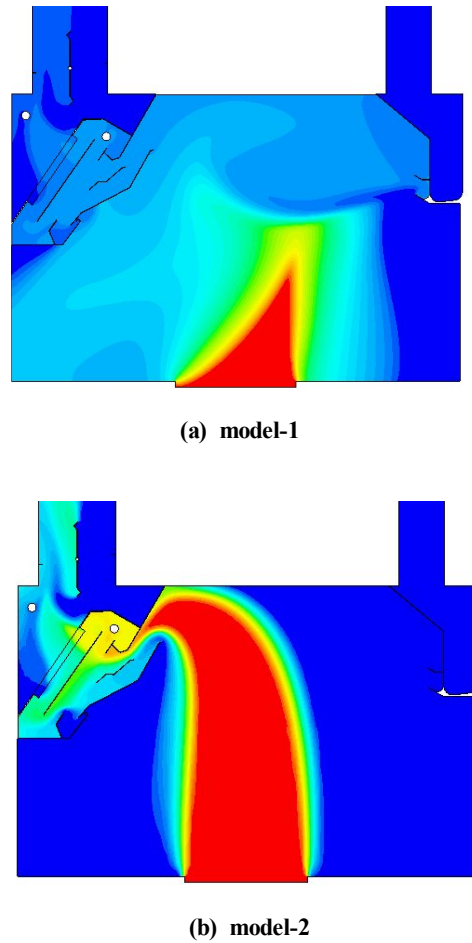


Fig. 5 Comparison of air mass fraction

다. model-1의 경우 Plume의 메인기류가 배기쪽으로 빠져가지 주방후드 밖으로 빠져나가는 것을 확인할 수 있었다. 이는 급기유량이 높기 때문에 이로 인해 후드 상부쪽으로 Plume이 충분히 상승하지 못하고 배기쪽 입구부에 설치된 격판에 부딪혀 주방후드 밑으로 다시 내려오는 결과를 초래함을 확인할 수 있었다. 반면 model-2의 경우 후드 상부까지 충분히 상승하여 배기쪽 입구부로 거의 빠져나

감을 확인할 수 있었다. 따라서 model-1에 비해 model-2의 급기 및 배기 유량조건이 본 연구에 적용되는 선박용 주방후드에 적합한 것으로 사료된다.

Fig. 5는 공기의 질량분포를 비교한 것이다. 앞서 언급한 유동분포와 마찬가지로 model-1의 경우 주방후드 전체에 Plume이 퍼져있는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 model-2의 경우 대부분 Plume이 배출되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 주방후드에서 필터로 이물질이 바로 유입되지 못하도록 격판을 설치하여 후드 상부에서 유입될 수 있도록 설계된 본 연구 대상과 같은 형식의 후드에서는 model-2와 같은 유량배분이 적합할 것으로 사료된다.

3.2 필터 세척 분사노즐 유동해석

가정용 주방후드와 달리 선박과 같은 대형의 주방후드의 경우 필터에 부착된 이물질 등을 주기적으로 제거하기 위해 후드에 고압세척 노즐이 설치되어 있다. 따라서 본 연구에서는 세척용 분사노즐에서 분사되는 작동유체인 물이 어떻게 분사되는지에 대한 유동분포를 파악하기 위해 우선 분사노즐에 물을 공급하는 펌프유량을 가지고 전체 살수되는 분사노즐 시스템에 대한 유동해석을 수행한 후 노즐에서 분사되는 물의 속도를 경계조건으로 부여하여 최종 분사모델을 사용한 Droplet Spray 수치해석을 통해 분사되는 물의 분사형태를 계산하였다.

분사노즐에서 작동유체가 분사되어 필터까지 도달하기까지의 과정을 Droplet 상태로 유동해석을 수행하기 위해서는 비정상상태로 계산이 수행되어지며, 분사노즐을 통과한 작동유체인 물은 액적상태로 분사되기 때문에 입자를 추적하여 계산하는 Lagrangian multi phase로 가정하여 유동해석을 수행하였다. 또한 본 연구에서 작동유체에 대한 물성치를 적용하여 Droplet physical model은 Droplet break-up모델에서 공력발생에 의해 Droplet 분쇄가 이루어지는 Reitz모델을 적용하였다.

Fig. 6은 분사노즐의 형상을 노즐의 축소비 (D_2/D_1), 노즐의 길이와 직경에 대한 비(L/D_2)의 계

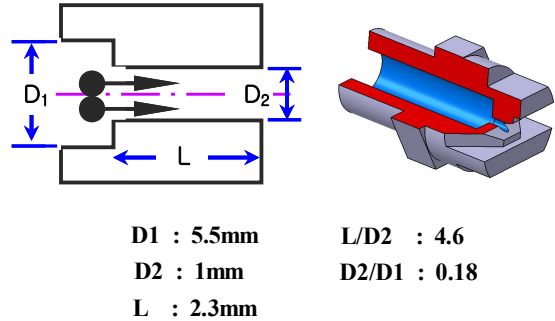


Fig. 6 Geometric parameters of the nozzle

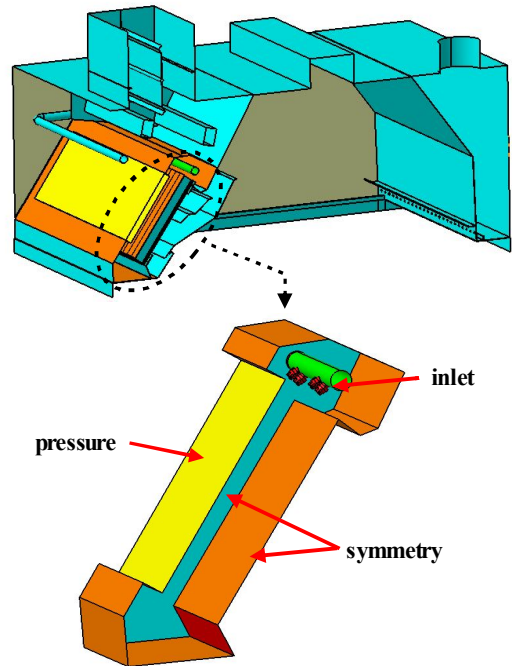


Fig. 7 Boundary conditions for droplet spray

수를 사용하여 노즐을 직접 모델링하지 않고, 노즐에 대한 모델링을 대신할 수 있다. 본 연구에 사용된 노즐의 축소비는 0.18이며, 노즐길이와 분사직경에 대한 비는 4.6으로 나타났다. 이는 일반적인 노즐의 형태를 가지고 있으며, 보통 노즐길이와 분사직경에 대한 비는 5에 비해 노즐의 길이인 L 이 다소 작은 것으로 나타났다.

본 연구에서 분사노즐 개개에 대한 분사유량은

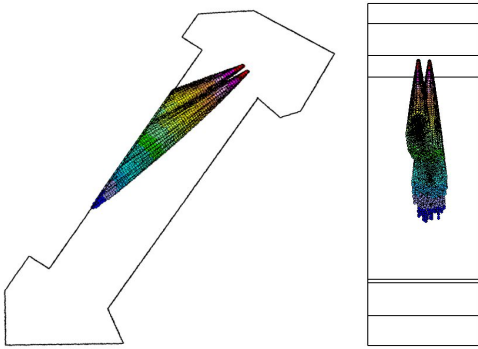


Fig. 8 Result of droplet spray in filter zone

전체 워터펌프에서 토출되는 유량을 토대로 노즐 한 개에 대한 유량으로 환산하여 적용하였다. 또한 노즐의 입구에서 유속을 가정하기 위해 Fig. 7과 같이 필터에 노즐이 설치되는 구간에서 대칭되는 지점만 따로 모델링하여 노즐 출구에서의 분사 속도를 계산하였다. 계산에 적용된 경계조건은 분사노즐 입구로 유입되는 세척수 각각의 유량은 0.0012 kg/s의 유량(펌프 토출유량이 3 kg/min일 경우)이 유입되는 것으로 설정하였다. 또한 세척시 배기 팬을 가동하지 않기 때문에 필터는 대기압으로 설정하였다.

계산결과 Fig. 8과 같이 노즐 출구에서 약 9 m/s의 유속으로 세척수가 토출되는 것을 확인할 수 있었고, 결과에서 확인할 수 있듯이 분사노즐의 방향이 동일방향이 아닌 필터 상하부로 조준되어 필터에 분사되는 면적을 높이도록 설계되어 있었다.

4. 결론

CFD를 통해 선박용 주방후드에 대한 유동해석을 수행하였으며, 그 결과 급기유량이 배기유량의 50%인 경우 급기에서 토출되는 유량에 의한 유속 증가로 인해 Plume을 배기쪽으로 유도해 주기 보다는 분산시키는 것을 확인할 수 있었다. 이로 인해 배기쪽으로 Plume이 빠져나가기 보다는 오히려 외부로 배출시키는 현상이 초래하였다. 반면 급기유량이 10%인 경우 Plume이 후드 상부로 이동하여

배기쪽 입구로 자연스럽게 배출되어 주방에서 발생되는 오염물질을 효과적으로 배출하는데 유리한 것으로 나타났다.

필터세척 노즐에 관한 Droplet 해석에서는 분사되는 물의 유동장은 필터 상하부로 각도가 조정되어 있었고, 조준위치는 유동장에서 볼때 필터를 통해 가장 많이 빠져나가는 지점에 맞춰져 있음을 확인할 수 있었다.

REFERENCES

1. 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 Annual Conference, pp. 382-387, 2002.
2. Park. J. C., "A Study on the Improvement Strategies for Exhaust Performance in Commercial Kitchen Hoods," Korean J. Air-Cond. Refrig. Eng., Vol. 15, No. 5, pp. 439-445, 2003.
3. Yi, K. W., Kim, Y. I. and Moon. Y. J., "A Study on the Performance of Capture Air Ventilation System with respect to Air Flow Rate," SAREK Winter Annual Conference, pp. 477-482, 2003.
4. 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," Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A, Vol. 30, No. 2, pp. 177-185, 2006.
5. Kim. S. G., Park. S. G., Choi. H. G., Young. H. T. and Kim D. Y., "Study on the Optimal Velocity of Horizontal Air Jet of a Range hood system," SAREK Winter Annual Conference, pp. 477-482, 2005.
6. Jang. S. C, Kim J. W. Yi. C. S., "Numerical Analysis on the Inner Flow Characteristic for Small Smoke Collector," J. of KSMPE, Vol. 12, No. 5, pp. 67-75, 2013.