

코안다효과를 이용한 필터에 관한 연구

김용선*, 석재준*, 신희재*, 고상철*^{#,}

*전주대학교 탄소연구소

A Study on Improving Filter Performance Using Coanda Effect

Yong Sun Kim*, Jae Jun Seok*, Hee Jae Shin*, Sang Cheol Ko*^{##}

*Institute of Carbon Technology, Jeonju Univ.

(Received 2 December 2019; received in revised form 15 December 2019; accepted 17 December 2019)

ABSTRACT

Modern people spend a lot of time indoors. Oil mist has a very fatal effect on the cook's health. Range Hood's filter plays a very important role in removing oil mist from kitchen. In this study, we applied coanda effect to increase the collection efficiency of filter. Original, Bottom, Slide Three shapes were simulated, and the two shapes were measured and compared using a wind tunnel tester. Pressure loss is measured below 2.0mmAq for all three filters, making them easy to use indoors. The simulation results were 15% for the original filter, 22% for the bottom filter, and 30% for the slide filter. The wind tunnel tester obtained 26% of the original filter and 30% of the slide filter. Research is needed to increase the collection efficiency by 50%.

Key Words : Coanda Effect(코안다 효과), Computational Fluid Dynamics(전산유체역학), Oil-mist Filter(유증기 필터), Collection Efficiency(포집효율), Wind Tunnel Experiment(풍동실험)

1. 서 론

현대인은 실내에서 머무르는 생활을 하고 있으므로 이에 따른 실내 환경의 오염도는 매우 중요한 지표가 된다. 일반적인 공동주택 주방의 경우 실내 공기 오염원은 다양하지만, 짧은 시간 다량으로 발생하는 경우는 주로 음식을 조리하는 경우이다. 이러한 경우 생활공간과 주방이 연결되어 있는 보통의 주거형태가 대부분인 우리나라에서 발생한 오염원으로 인한 실내공기의 질이 낮아지게 된다. 오염

물질이 적절하게 옥외 배출과 실내 확산 방지가 실내공기의 질을 높이는데 중요한 역할을 하게 된다. 이러한 역할을 하는 것이 주방후드의 역할이다. 주방후드에서도 Filter의 역할은 매우 중요하다. 주방에서 사용하는 필터의 경우 형상에 따라 압력손실과 효율에 영향을 미치게 된다. 기존의 연구자들이 연구한 선행 결과 김경환 등은 “가스레인지와 창문의 위치에 따른 주방의 배기성능 예측”에서 이산화탄소 포집율에 대한 연구를 진행하였으며, 김기정 등은 “주방환기용 그리스 필터의 입자 제거 특성에 관한 연구”를 통해 주방후드의 필터링에 대한 연구를 진행하였다. 상기 논문들은 정해진 유량에서 압력손실이 20 mmAq 이상으로 나타나 실내에서 사용하기에는 한계가 있다.^[1-5]

Corresponding Author : soko@jj.ac.kr

Tel: +82-63-220-2623, Fax: +82-63-220-3161

따라서 본 연구에서는 주방후드 필터의 포집효율과 압력손실을 낮추기 위하여 Chevron Filter를 기본으로 코안다 효과를 적용하고자 한다. 다양한 형상으로 코안다 효과를 확인하고, 포집효율을 높이고 압력손실이 3.5 mmAq 이하인 필터를 제안하고자 한다. 또한 시뮬레이션의 신뢰도 확보를 위하여 실험장치를 제작하고 필터를 3D프린터로 제작하여 포집효율을 비교하고자 한다.

2. 이론적 배경 및 수치해석

2.1 난류모델

필터의 포집효율 및 압력손실을 분석하기 위해 ANSYS FLUENT 16.0을 사용하며, 공기와 액적의 다상유동을 실시하고 난류모델로 $k-\omega$ SST(Shear-Stress Transport)를 선택하였다. $k-\omega$ SST 모델은 벽 근처 유동해석에 유리한 모델로서 고 레이놀즈수의 유동 흐름을 해석 $k-\epsilon$ 모델과 벽 근처의 저 레이놀즈 수를 해석하는 $k-\omega$ 모델 두 가지 장점을 결합한 모델이다.

k 는 운동에너지를 나타내며 식 (1)로 표현된다. ω 는 수송방정식을 나타내며 식 (2)로 표현된다. 식 (2)의 D_ω 는 교차 확산(Cross-diffusion) 항으로 벽면 근처에서 점성 효과를 잘 예측할 수 있도록 $k-\omega$ 모델을 사용하다가 그 외 유동 내부영역에서는 $k-\epsilon$ 모델을 이용해 계산할 수 있도록 하는 항이다.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + \tilde{G}_k - Y_k + S_k \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \omega) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \omega u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) + G_\omega - Y_\omega + D_\omega + S_\omega \quad (2)$$

여기서, 점성항 Γ_k 와 Γ_ω 는 난류 응력의 이송효과를 반영하기 위해 레이놀즈수가 아닌 변형 속도 및 비 소산율로 정의된다. Y_k 와 Y_ω 는 회귀분석(Piecewise)방법을 적용한 소산항이고 식(1)에서 k 의

생성항 \tilde{G}_k 는 G_k 를 유동의 변형률 및 비소산율 ω 에 대하여 보정한 값이다.^[6-8]

2.2 코안다 효과

유체의 흐름이 곡면을 따라 흐르는 현상을 코안다 효과라고 말한다. 곡면의 벽을 따라 표면 압력은 주변 압력에 맞게 상승하게 되고, 이러한 조건에서 곡면의 벽과 유동간에 분리가 일어나게 된다. 이론적 가설을 통해 이론적 가설을 통해 Bradshaw는 비점성,비회전 흐름의 관점에서 코안다 효과를 설명하였다. 유동이 초기에 비점성이라고 가정하면, 유동의 압력 거동을 기술하는 공식은 Bernoulli방정식으로부터 다음과 같이 유도된다.

$$p_0 = p_\infty - \frac{\rho U^2}{a} \quad (3)$$

여기서 ρ 는 분출되는 유체의 밀도이며, U 는 평균유속, a 는 곡면의 회전반경을 나타낸다. 식(3)와 같은 조건하에서 비점성 유체의 압력은 주변 압력보다 낮다. 여기서 b 는 분출되는 슬롯의 간격을 나타낸다.

$$\frac{\rho U^2 b}{a} \leq p_\infty \quad (4)$$

평균속도는 벽을 따라 표면 압력이 증가하는 동안 감소하며 대기압력과 같아진다. 표면압력 p_s 의 조건이 $p_s = p_\infty$ 일 때 곡면으로부터 유동박리가 일어난다. 코안다효과는 몇 가지 물리적 매개변수로 설명할 수 있다. 식 (5)은 Newman에 의해 높은 레이놀즈수에서 코안다 유동분석을 통해 실린더를 따라 흐르는 유동을 다음과 같은 방정식으로 제안하였다.

$$\theta_{sep} = f \left[\left(\frac{(p_0 - p_\infty) \cdot b \cdot a}{\rho \cdot v^2} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \quad (5)$$

여기서, θ_{sep} 는 제트유동이 분리되는 각도, b 는 슬롯의 너비, a 는 곡률반경, $(p_s - p_\infty)$ 는 벽 표면의 압력과 대기압의 차를 나타내며, 유동박리 각도

θ_{sep} 가 압력차, 실린더의 기하학적인 특성과 유체의 특성함수임을 나타낸다.^[7-11]

3. 경계조건 및 모델링

3.1 시뮬레이션 형상 설계

코안다 효과를 적용하기 위하여 수치해석에 적용한 경계조건을 Fig 1에 도시하였다. 필터의 두께는 2 mm이고 필터사이의 Gap은 2 mm이다. 필터의 총 두께 h 는 30 mm이고 필터의 각도는 60°로 설정하여 모델링 하였다. Slide Model의 경우 코안다 효과를 주기 위하여 Filter의 이동을 +x 방향으로 0.5 mm 이동하여 Tap을 주었다. Bottom Model의 경우 필터 하단에 장축 $\Phi 3$ 단축 $\Phi 2$ 의 타원형 형상을 추가하여 코안다 효과를 적용하고자 하였다. Slide와 Bottom에 대한 모델링은 Fig 2에 도시하였다.

시뮬레이션을 수행하기 위하여 사용한 액적의 특성을 Table 1에 나타내었다. 하첨자 p는 액적, air는 공기이다. 포집효율에 적용하는 액적의 경우 구의

형태로 이루어져있으며, 액적은 입구조건에서 공간에 균일하게 분사된다고 가정하였다.

3.2 실험을 위한 형상 설계

시뮬레이션의 검증을 위하여 풍동실험장치를 이용하여 포집효율을 분석하였다. Fig 3은 3D 프린터를 이용하여 Slide Model을 제작한 사진과 포집효율을 측정하기 위한 4 Channel의 측정장치로 Fluke사의 PC-220 제품을 사용하였다. Fig 4는 포집효율을 분석하기 위하여 사용한 풍동실험장치이다. 유속은 시뮬레이션과 동일한 면속 1.5 m/s를 설정하여 실험하였다.

4. 시뮬레이션 및 실험 결과

Table 1 Basic physical properties of air and liquid

Fuild	Pattern	ρ_p (kg/m ³)	ρ_{air} (kg/m ³)	μ_g (kg/m·s)	μ_l (kg/m·s)
Air-Liquid	Dispersed	980	1.225	0.0242	0.001

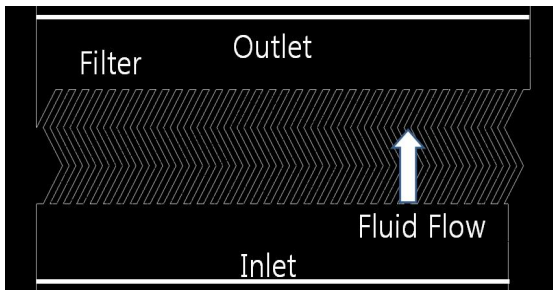


Fig. 1 boundary conditions of original model

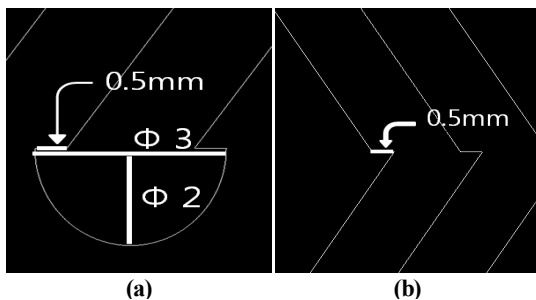


Fig. 2 Shape of bottom(a) and slide(b) model



(a)



(b)

Fig. 3 Filter(a) and particle counter(b)

Table 2 Efficiency by Coanda-filter type

Type	Efficiency (%)	Pressure loss (mmAq)	Velocity (m/s)
Original	15.41	1.29	4.35
Bottom	22.97	1.72	5.23
Slide	30.51	1.72	5.38

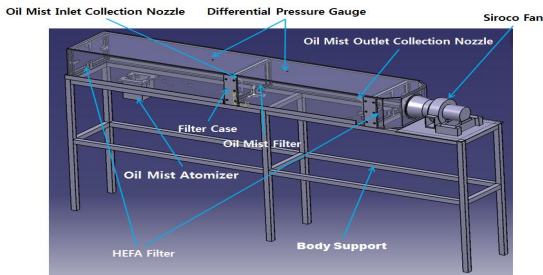


Fig. 4 Filter evaluation test equipment design

Table 2에 형상에 따른 필터의 전체 포집효율과 압력손실, 그리고 최대 유속의 값을 나타내었다. 레이놀즈수는 1,000 ~ 2,000 이내로 계산되었다.

Fig 5에는 제안된 세 가지 필터의 압력분포를 나타내었고 Fig 6에는 속도벡터를 나타내었다. Fig 7에는 입자별 포집효율을 나타내었다. 코안다효과를 적용하기 위한 Tap에서 저압이 형성되어 Back Flow가 생기는 것을 볼 수 있다. 코안다효과가 적용된 필터의 경우 Original model 보다 7% ~ 15%의 효율 증가를 확인 할 수 있었다. 해석 결과 Original > Bottom > Slide Model 순으로 포집효율이 높게 나왔으며, 압력손실은 Original이 1.29 mmAq, Bottom과 Slide가 1.72 mmAq로 해석되었다. 실내 주방에서 사용하는 후드의 최대 압력손실이 3.5 mmAq 이하가 되어야 모터의 소음과 진동을 제어 할 수 있다. 이에 압력손실은 만족할만한 값을 확인 할 수 있었다.

풍동실험장치로 실험한 결과와 Original과 Slide Model 시뮬레이션 비교 결과를 비교한 그래프를 Fig 8에 나타내었다. Original Model의 전체 포집효율은 약 26%로 측정되었으며, Slide Model의 경우 전체 포집효율이 30%로 측정되었다.

분석장치의 입자 측정 범위가 1, 3, 5 10 μm의 4 Channel 장비를 사용하여 범위 측정에 제한점이 있었으며, 제한된 실험 결과와 시뮬레이션 간 오차를

비교해보면 Original Model의 경우 약 10.7%의 오차를 보였으며, Slide Model의 경우 1% 이하의 오차를 확인하였다.

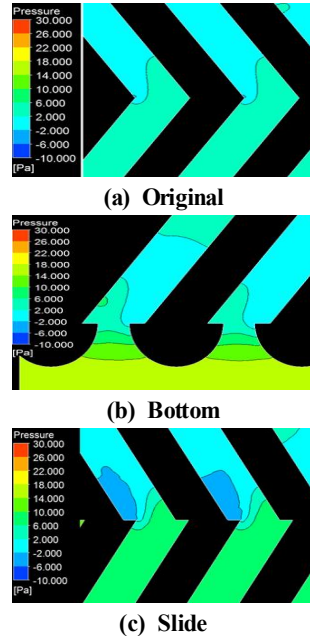


Fig. 5 Pressure of filter with Coanda filter

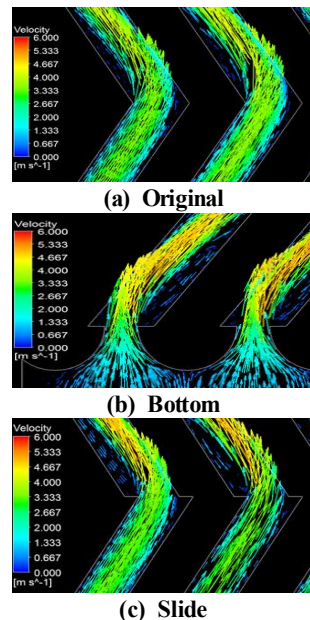


Fig. 6 Vector of filter with Coanda filter

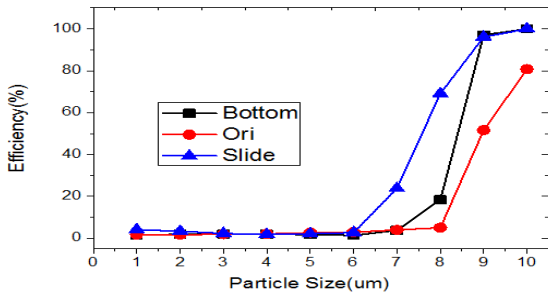


Fig. 7 Efficiency by coanda filter model

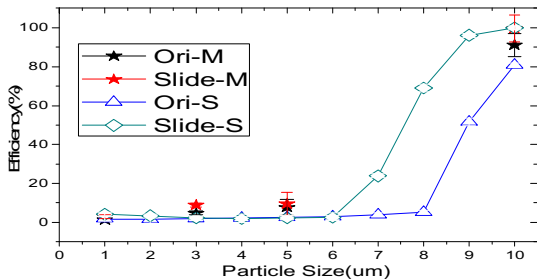


Fig. 8 Measurement and simulation results

5. 결론

기본적인 Chevron Filter의 효율을 증가시키기 위하여 Filter의 형상에 코안다 효과가 적용될 수 있도록 형상변화를 주어 그에 따른 수치-해석적 연구를 진행하였다. 코안다 효과가 적용되도록 형상을 변화시키게 되면 형상에 저압이 걸리게 되어 효율증가를 확인 할 수 있었다.

- (1) Tap을 적용한 부위에 압력이 낮아지게 되면 유동 성분의 변화가 생기고 유체의 흐름이 곡면을 따라 흐르는 코안다 현상을 유도할 수 있게 된다. 그로인하여 벽과 박리되는 시간을 늘려 필터에 포집이 충분히 이루어 질 수 있도록 하는 효과가 생긴다.
- (2) 코안다 효과를 적용하기 위하여 세 가지 형상에 대한 시뮬레이션을 진행하였고 두 가지 형상을 풍동실험 장치를 이용하여 실험 결과와 비교하였다. 시뮬레이션 결과 Original은 15%, Bottom은 22% Slide는 30% 포집효율을 확인하였고, 실험은 Original은 26%, Slide는 30%의 포집효율로 측정되어 약 1% ~ 11%의 오차를 확인하였다.

- (3) 입자계수기의 Channel이 1, 3, 5 10 μm 로 제한적인 문제가 있었다. 또한 Oil Mist의 크기는 3 ~ 7 μm 인 것으로 보고되는데 7 μm 이상의 입자는 효과적이지만 그 이하의 입자에서는 효과가 미비하였다. 이것을 보완하기 위해 형상에 더 많은 변수가 필요할 것이다. 향후 추가적인 연구를 통하여 전체 포집효율 50%이상 3 ~ 7 μm 사이의 입자를 포집하는 필터를 연구하고자 한다.

후 기

“이 논문은 한국연구재단의 2017년도 이공학개인 기초연구 사업(NRF-2017R1D1A1B03036070)과 2016년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2016R1A6A1A030120 69).”

REFERENCES

1. Kim, K. H., Lee, J. H., Park, M. S., Lee, D. W., “Prediction of the ventilation performance in a kitchen with various locations of gas range and window”, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 1, pp. 75-82, 2000.
2. Kim, K. J., Bae, G. N., Kim, Y. I., Hur, N. K., “A Numerical Study on the Particle Collection Characteristics of a Grease Filter for Kitchen Ventilation”, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 14, No. 10, pp. 792-801, 2002.
3. Lee, K. K., Kim, H. G., Ko, S. C., Kang, S. S., “The Development of Technology for oil Mist and Odor Removal Using Cab Type Filter”, The Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol. 2009, pp. 452-455, 2009
4. Kim, H. G., “A Study on the Design of Filter Assembly Automation System”, The Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol. 17, No. 6, pp. 111-117, 2008.
5. Kim, Y. S., Yun, S. M., Shin, H. J., Ko, S. C., “A Study on the Collecting Efficiency of Oil-mist Filter

- according to the Sub-filter Shape”, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 18, No. 1, pp. 16-23, 2019.
6. Ahn, D. I., Kim, H. G., “Numerical Study on Submersible Pumps with a Vortex Reduction Function”, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 18, No. 10, pp. 83-92, 2019.
 7. Cho, J. Y., Go, S. H., Kim, H. G., "Analysis of Drainage Efficiency of Different Type of Drainage using Computational Fluid Dynamic Method", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 16, No. 2, pp.34-43, 2017.
 8. Yun, S. M., Kim, Y. S., Shin, H. J., Ko. S. C., “A Numerical Study for Optimum Design of Dust Separator Screen Based on Coanda Effect”, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 17, No. 6, pp. 177-185, 2018.
 9. Lee, D. W., Lee, S., Kim, B. J., Kwon, S. B., “A Study on Jet Characteristic using a Coanda Effect in a Constant Expansion Rate Nozzle”, Journal of the Korean society for aeronautical & space sciences, Vol. 35, No. 8, pp. 706-713, 2007.
 10. Kim, K. M., Kim, Y. J., Kwac, J. S., “Improvement of Film Cooling Performance of a Slot on a Flat Plate Using Coanda Effect”, The KSFM journal of fluid machinery Vol. 20, No. 2, pp. 5-10, 2017.
 11. Seo, D. W., Oh, J. K., Jang, J. H., “Performance analysis of a horn-type rudder implementing the Coanda effect”, International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, Vol. 9, No. 2, pp. 177-184, 2017.