

유해물질 및 공업용 분진 제거를 위한 산업용 후드 개선에 관한 연구

김 영 선, 오 율 권**

조선대학교 정밀기계공학과, *조선대학교 메카트로닉스공학과

A Study on Improvement of Industrial Hood in Ventilation System for Elimination of Harmful Material and Dust

Young-Sun Kim, Yool-Kwon Oh**

Department of Precision Mechanical Engineering, Chosun University, Gwangju 501-759, Korea

*Department of Mechatronics Engineering, Chosun University, Gwangju 501-759, Korea

(Received September 13, 2007; revision received February 28, 2008)

ABSTRACT: This study investigates on the improvement of inhalation effect of hood which attached new device named as “gas-guide-device” in local exhaust ventilation system for the effective elimination of harmful material and dust in manufacturing factory. The gas-guide-device having a diamond shape is composed of width (b) and two sides of a device (X, Y) and its size is selected the industrial hood under application in manufacturing factory after due consideration. In order to investigate the effect of gas-guide-device, numerical and experimental study is performed that the flow velocity is calculated and is measured by a commercial program “COMSOL Multiphysics™” and a hot wire type of anemometer, respectively. The numerical and experimental results are revealed is a similar pattern and flow velocity has improved to hood attached gas-guide-device. Also, the numerical method and result is also verified the dependance. Moreover, the optimum shape and size of gas-guide-device is revealed that the width (b) and the ratio of two sides of gas-guide-device (X, Y) has 125mm and 4 to 6.

Key words: Local exhaust ventilation system(국소배기장치), Gas-guide-device(가스유도장치), Flow velocity(유속), Industrial hood(산업용 후드)

기 호 설 명

k : 난류운동에너지 [J]
 p : 압력 [N/m²]
 U_i : 입구속도 [m/s]
 C_{e1} : 난류 모델 계수

그 리 스 문 자

ϵ : 난류운동에너지 소산율
 μ_t : 난류점성계수 [kg/ms]
 ρ : 밀도 [kg/m³]

† Corresponding author

Tel.: +82-62-230-7014; fax: +82-62-230-6596

E-mail address: ygoh@chosun.ac.kr

1. 서 론

산업환기란 작업장 내 오염된 공기를 배출하고

동시에 외부의 신선한 공기를 공급하여 작업장 내에 근로자들의 오염공기에 대한 노출을 최소화 시키는 것이다. 산업환기는 크게 전체환기와 국소배기로 나눌 수 있고, 전체환기는 강제환기와 자연환기로 나누어진다.⁽¹⁾ 1990년대에 들어, 산업환기에 대한 세계 기술 동향을 살펴보면, 세계 각국에서는 환기량에 대한 기준을 강화하고 실내공기 환경에 관한 연구를 꾸준히 진행하고 있으며, 미국의 경우를 살펴보면, 주거용 건물의 최소 환기 기준을 1인당 10 cfm[ft³/min](ASHRAE Standard 62-1981), 그리고 시간당 최소 환기 횟수를 0.35 회로 한 ASHRAE Standard 62-1989를 제정함으로써 주거용 건물의 환기 및 기밀성능을 위한 설계기준으로 활용하였다.⁽²⁾ 이와 같이 세계적으로 실내 환경개선과 에너지 절약을 위한 각종 설계 지침과 관리지침을 제시하고 있어 산업환기 분야의 발전은 한층 진보할 것으로 예상된다.

일반적으로 국소배기장치는 후드(Hood), 덕트(Duct), 공기정화장치(Air Clean Device), 송풍기(Fan), 굴뚝(Stack) 등으로 구성된다.⁽³⁾ 이 중 후드는 국소배기시스템으로 오염물질을 포집하여 배출하는 역할을 하므로, 후드에서 오염물질이 충분히 포집되지 않으면 후드 이후의 설비가 아무리 좋더라도 오염물질 제거가 비효율적이게 된다. 본 연구에서는 국소배기장치를 구성하는 요소 중의 하나인 후드 내부에 가스유도장치(Gas-Guide-Device)라고 명칭한 별도의 장치를 설치하여 후드 입구 양쪽 끝단에서의 포착속도를 개선하고자 하였다. 이를 위해, 후드 내에 가스유도장치를 장착하지 않은 경우와 장착하였을 경우로 나누어 수치해석 및 실측을 통해 성능평가를 수행하고, 후드의 크기에 맞는 최적의 가스유도장치 형상을 도출하여 오염원 및 분진 등의 포착속도 증가를 통해 흡입효율을 향상시키고 국소배기장치 전체 시스템의 효율을 증가시키는데 중요한 기초연구 자료를 제시하고자 한다.

2. 수치해석 및 실험

본 연구에서는 가스유도장치의 장착 유·무에 따른 후드 입구 및 후드 주변에서 발생하는 유동현상을 해석하기 위해 다중 물리현상 해석이 가능한 상용코드 “COMSOL Multiphysics™”을 사용하였다. 또한, 수치해석과 동일한 조건하에서 각

위치별 발생하는 유속을 확인해 보기 위해서 Hot-wire type의 풍속계⁽⁴⁾를 이용하여 실측을 하고 수치해석 결과와 실측 결과를 비교해 보았다.

2.1 해석모델

본 연구에서는 수치해석 및 실험을 위해 현재 제조업 현장에 설치되어 사용하고 있는 후드를 해석 모델로 선정하였다. Fig. 1은 후드 내에 장착된 가스유도장치의 개략도를 이해하기 쉽도록 3-D 형상으로 제시한 것이다.

Fig. 2는 후드 내에 가스유도장치의 장착 유·무에 따른 성능평가 및 최적형상 도출을 위해 후드 입구의 끝단에 5개 측정지점을 선정된 2-D 형상의 해석모델을 보여주는 것으로, 가스유도장치의 형상을 폭(b)과 상·하부측 길이를 X, Y로 표현하였다. 또한, 노동부에서 권장하는 포착속도 범위 내에서 유속을 측정하기 위해 후드 끝단으로 부터 50 mm 떨어진 곳을 유속측정지점으로 설정하였다.

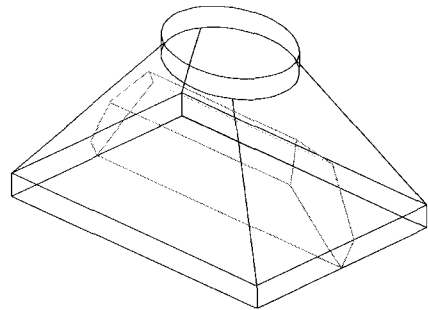


Fig. 1 3-Dimensional Schematic diagram of the hood attached gas-guide-device.

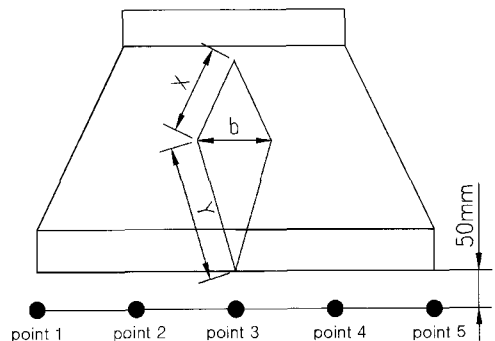


Fig. 2 2-D model of the measurement point.

2.2 수치해석 및 실험방법

본 연구에서 수치해석을 위해 사용된 상용코드인 COMSOL MultiphysicsTM은 여러 가지 복합적인 물리현상을 시뮬레이션 할 수 있는 프로그램이다. 또한 COMSOL MultiphysicsTM은 비압축성 유체 유동을 해석하기 위해 유체역학적 운동방정식을 기술한 나비에-스톡스 방정식(Navier-Stokes Equation)을 사용하고 있다.⁽⁵⁾

수치해석을 위한 경계조건으로는 후드 출구면(덕트 연결부)을 Outflow Velocity로 설정하였고, 후드 Surface는 대기상태로 설정하였다. 또한, 벽면에서는 유체유동이 발생하지 않으므로 No Slip B.C.으로 설정하였고, 뒷면의 경우 해석에 의미가 없으므로 경계조건 영역에서 제외하였다. 후드 및 주위의 격자 형성을 14,000개 이상으로 설정하였고, Cell Reynolds Number를 최소화하여 수치해석 값의 신뢰도를 높였다.

본 연구에서는 가스유도장치의 성능평가와 최적의 형상 도출을 위해 2가지 조건을 설정하여 연구를 수행하였다. 첫 번째는, 가스유도장치의 장착 유·무에 따른 성능평가를 실시하기 위해, 실제 제조현장에서 사용 중인 후드를 대상으로 후드 내에 가스유도장치(GGD)를 장착했을 경우와 장착하지 않았을 경우로 나누어 Table 1과 같은 조건에서 수치해석 및 실험을 수행하였다.

두 번째는, 제조현장의 여건에 따라 다양한 크기의 후드가 제작됨을 고려하여 가스유도장치의 최적형상을 도출하기 위해, 실제 제조현장에 공급하려고 준비 중인 덕트를 선정하고 덕트의 유속, 관경 그리고 후드 입구 선단의 길이가 각각 12 m/sec, Ø240 mm, 500 mm인 경우를 적용하였다. 또한, 가스유도장치의 폭(b)은 현장 경험치와 선행된 수치해석 결과를 토대로 후드 입구 선단 길이의 약 25%, 30%, 35%인 b = 125 mm, 150 mm, 175 mm로 선정하고 X, Y의 길이를 길이비로 정리하여 Table 2와 같은 조건하에서 충분한 수치해석 과정을 거친 후 가스유도장치의 최적형상을

Table 1 Experimental condition (Unit : mm)

GGD 장착 유무	덕트 유속	온도 (°C)	덕트 관경	GGD 폭(b)	GGD 변(X)	GGD 변(Y)
GGD-무	6.85m/s	20°C	Ø400	.	.	.
GGD-유	6.85m/s	20°C	Ø400	400	250	350

Table 2 Numerical analysis case (Unit : mm)

Case	Case A (b=125)		Case B (b=150)		Case C (b=175)	
	X	Y	X	Y	X	Y
5 : 5	177	177	177	177	177	177
4.5 : 5.5	160	195	160	195	160	195
4 : 6	142	213	142	213	142	213
3.5 : 6.5	124	230	124	230	124	230
3 : 7	106	248	106	248	106	248

결정하고자 하였다. 그리고 수치해석 결과를 바탕으로 결정된 최적형상을 토대로 제작 중인 후드에 장착하고, Hot-wire type의 풍속계를 이용하여 가스유도장치 장착 유·무로 나누어 실험을 수행하였다.

3. 수치해석 및 실험결과

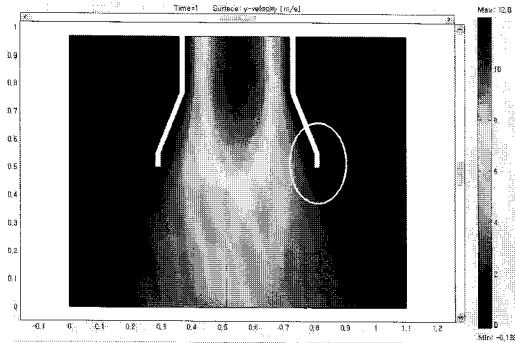
3.1 가스유도장치 유·무에 따른 성능평가

본 연구에서는 후드 내 가스유도장치의 장착 유·무에 따른 성능평가를 위해 Table 1에 제시된 조건을 토대로 수치해석 및 실험을 실시한 결과를 정리하였다.

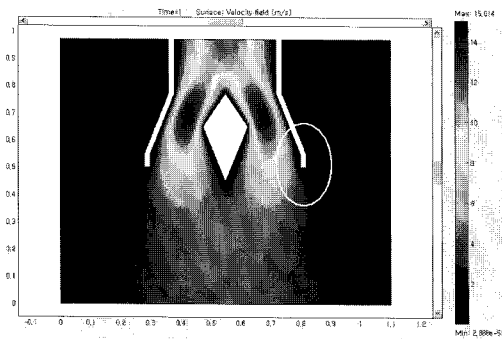
Fig. 3은 후드 내 가스유도장치의 장착 유·무에 따른 수치해석 결과를 가시화하여 나타낸 것이다. 가시화 결과를 토대로 해석결과를 살펴보면, Fig. 3(a)에서 보는 바와 같이 가스유도장치가 장착되지 않은 경우에는 후드 양단에 어두운 파란색으로 나타난 저 유속영역(흰색 타원)의 속도가 가스유도장치를 장착한 후에는 Fig. 3(b)에서 보는 바와 같이 어두운 파란색의 저 유속영역이 줄어들고 이 보다 유속이 상승된 영역이 상대적으로 분포하면서 속도분포가 향상됨을 알 수 있다.

Fig. 4는 가스유도장치가 장착된 경우와 장착되지 않은 경우에 있어서 수치해석(Num.)을 실시한 결과와 풍속계를 이용하여 Fig. 2에 나타난 측정지점에서 실측(Exp.)한 결과를 정리하여 그래프로 나타낸 것이다.

Fig. 3의 가시화 결과를 통해 확인한 바와 마찬가지로, Fig. 4에 정리한 수치해석 및 실험 결과를 살펴보면, 수치해석 및 실험 결과 모두 후드 입구 양쪽 끝단 부분에서 가스유도장치를 장착한 경우가 장착하지 않은 경우보다 유속이 증



(a) Without gas-guide-device



(b) With gas-guide-device

Fig. 3 Visualization of flow velocity in analysis model.

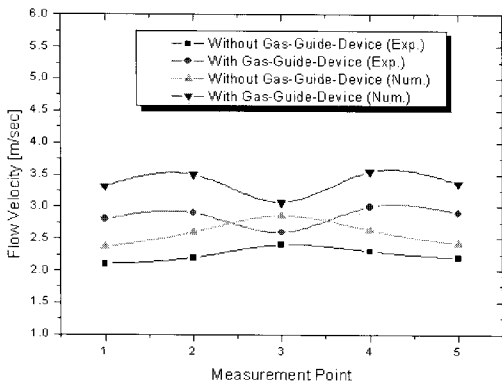


Fig. 4 Results of flow velocity by hot-wire type anemometer.

가하는 것을 확인할 수 있으며, 이에 대한 결과값을 Table 3에 정리하여 나타내었다. Table 3의 결과를 토대로, 수치해석값과 실측값은 측정 지점별로 약 10%~20%까지의 오차가 나는 것을 확인할 수 있었고, 수치해석과 실험결과에 대한 신

Table 3 Numerical and experimental result of flow velocity (Unit : m/sec)

구분		지점	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5
GGD-무	수치해석값		2.367	2.599	2.859	2.631	2.419
	실측값		2.100	2.200	2.400	2.300	2.200
GGD-유	수치해석값		3.316	3.503	3.071	3.548	3.367
	실측값		2.800	2.900	2.600	3.000	2.900

뢰성은 결과의 오차범위가 $\pm 5\%$ 이내일 경우이어야 하는 일반적인 사실에 비추어 볼 때 신뢰성 검증에는 다소 부족한 점이 있다. 그러나 본 연구에서 확인하고자 하였던 가스유도장치의 장착 유무에 따른 유속의 증감추세나 경향성은 수치해석과 실험을 통해 유사하게 나타나는 것을 확인할 수 있었고, 실측에 있어 주변의 소음, 진동, 외기의 영향 등에 의한 오차발생 요인을 최소화하고 수치해석 방법의 보안을 통해 다음 절의 가스유도장치 최적 형상 도출 연구에서 결과를 확인해 보았다.

3.2 가스유도장치 최적 형상 도출

선행된 3.1절의 성능평가 결과를 바탕으로 제조현장에서의 공간적, 제반적 여건에 맞는 크기와 설계인자들을 고려하여 후드 내에 가스유도장치

Table 4 Numerical result of flow velocity in cases at the measurement point

(Unit : m/sec)

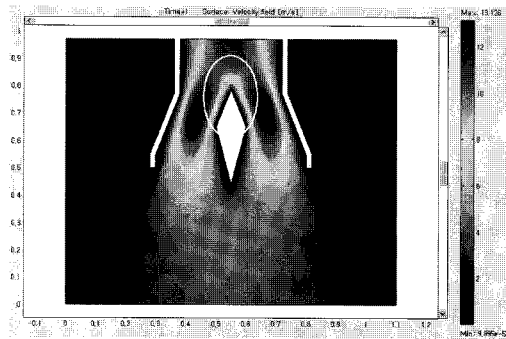
Point		Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5
Rate	5 : 5	6.024	6.504	4.400	6.451	6.100
	4.5 : 5.5	6.101	6.523	4.528	6.476	6.175
b = 125	4 : 6	6.205	6.547	4.623	6.531	278
	3.5 : 6.5	5.966	6.542	4.701	6.493	6.042
	3 : 7	5.921	6.536	4.762	6.503	5.998
b = 150	5 : 5	5.930	6.524	4.577	6.478	6.005
	4.5 : 5.5	5.986	6.535	4.678	6.494	6.062
	4 : 6	6.061	6.543	4.752	6.505	6.136
b = 175	3.5 : 6.5	5.886	6.547	4.811	6.513	5.964
	3 : 7	5.852	6.550	4.859	6.520	5.932
	5 : 5	5.756	6.512	4.707	6.472	5.841
b = 175	4.5 : 5.5	5.890	6.543	4.807	6.509	5.967
	4 : 6	5.958	6.541	4.869	6.521	6.032
	3.5 : 6.5	5.818	6.525	4.911	6.488	5.895
3 : 7	5.690	6.537	4.951	6.504	5.776	

의 최적 형상 도출을 위해 Table 2에 제시한 조건을 토대로 수치해석을 수행하였으며, 그 결과를 정리하여 Table 4에 나타내었다. 수치해석 결과를 살펴보면, 가스유도장치의 각각의 폭에 대한 X, Y의 비에 대해서 측정 지점별로 유속을 측정 한 결과, 가스유도장치의 폭이 125 mm일 경우 X, Y의 비가 4:6일 때 다른 길이 비의 경우보다 유속이 비교적 높게 나타났고, 또한, 가스유도장치

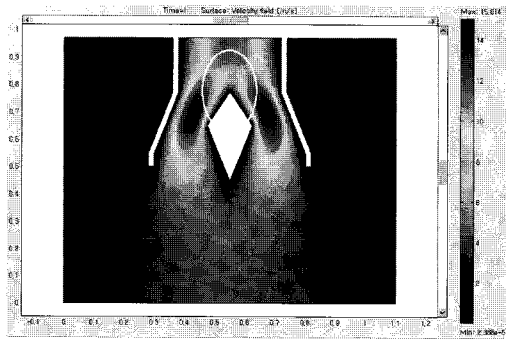
의 폭이 150 mm와 175 mm일 때도 폭이 125 mm인 경우 때와 유사하게 X, Y의 비가 4:6일 때 전반적으로 유속이 높게 나타났다. 이러한 수치해석 결과를 토대로 가스유도장치의 폭의 변화에 대해 X, Y의 비가 4:6일 경우 후드 입구 양쪽 끝단에서의 흡입효율이 가장 효과적이라고 볼 수 있다.

또한 가스유도장치의 X, Y의 길이 비가 4:6일 경우, 폭의 길이를 얼마로 하였을 때 가장 효과적인지 알아보기 위해 수치해석 결과를 분석하였다. Fig. 5는 가스유도장치의 폭이 각각 125 mm, 150 mm, 175 mm이고, X, Y의 길이 비가 4:6일 경우 수치해석을 통해 얻은 결과를 각각 가시화하여 나타낸 것이다.

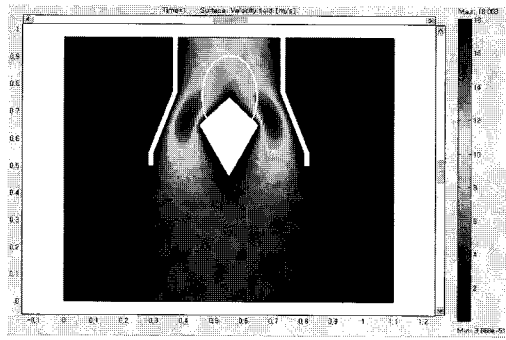
Fig. 5(b)와 Fig. 5(c)에서 보는 바와 같이, 폭이 150 mm나 175 mm일 경우에는 후드 입구 양쪽 끝단 및 가스유도장치와 후드 벽면사이에서 유속이 빠르게 형성되지만, 가스유도장치의 상부 끝단에서 발생하는 와류의 형성이 Fig. 5(a)의 경우보다 크게 나타났고 이러한 와류의 영향을 고려하였을 때 가스유도장치의 폭이 125 mm일 경우가 보다 효율적이라 판단된다. 따라서 가스유도장치의 폭이 125 mm이고, X, Y의 길이 비가 4:6일 때의 가스유도장치를 최적의 형상이라 결정하였다. 또한, 가스유도장치의 폭과 X, Y의 길이비를 정량적으로 표현할 경우, 후드 입구 선단 길이의 약 25%를 가스유도장치 폭으로 결정하고, X, Y의 길이비를 4:6으로 선정하여 후드의 크기에 맞게 제작하여 장착하는 것이 효율적이라고 판단된다.



(a) $b = 125\text{mm}$, $X : Y = 4 : 6$



(b) $b = 150\text{mm}$, $X : Y = 4 : 6$

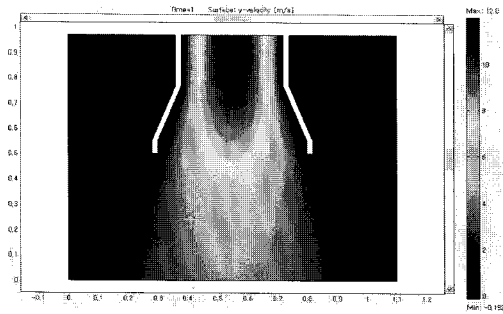


(c) $b = 175\text{mm}$, $X : Y = 4 : 6$

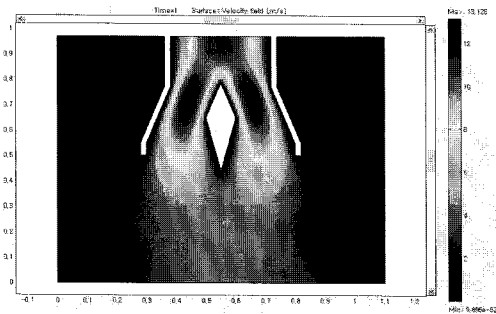
Fig. 5 Visualization result of flow velocity in analysis model.

3.3 가스유도장치 최적 형상 성능평가

본 연구에서는 앞 3.2절에서 수행한 연구결과를 토대로 최적의 가스유도장치 형상을 결정하고 시제품을 제작하여 풍속계를 이용한 실측을 실시하였고, 수치해석과 실험 결과를 각각 비교·분석하였다. 먼저, 2.2절의 두 번째 조건에서 제시한 후드의 형상을 해석모델로 하여 가스유도장치가 장착되지 않은 경우와 장착된 경우에 있어서 수치해석을 실시하고 그 결과를 Fig. 6에 가시화하여 나타내었다. Fig. 6에서 보는 바와 같이, 가스유도장치가 장착되지 않은 후드보다 가스유도장치가 장착된 후드에서 후드 양 끝단의 유속이 향상됨을 확인할 수 있다.



(a) Without gas-guide-device



(b) With gas-guide-device

Fig. 6 Visualization of flow velocity in analysis model.

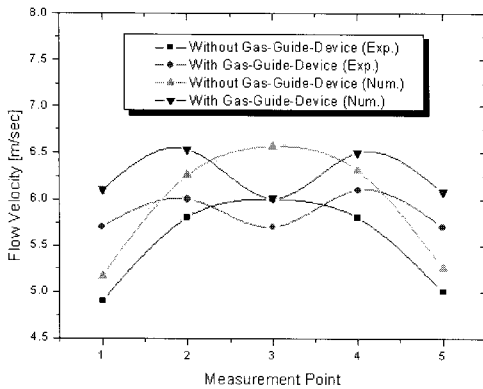


Fig. 7 Results of flow velocity by hot-wire type anemometer.

또한 Fig. 7은 가스유도장치의 장착 유·무에 따른 수치해석 결과와 실측 결과를 정리하여 그래프로 나타낸 것이다. Fig. 7에서 보는 바와 같이, 수치해석 및 실험 결과 모두 가스유도장치가 장착되지 않은 경우에 후드 중앙부에 유속이 집중되고 후드 입구 끝단에서 상대적으로 감소하는 유

Table 5 Numerical and experimental result of flow velocity at the measurement point (Unit : m/sec)

구분	지점	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5
	GGD-무	수치해석값	5.173	6.257	6.568	6.310
실측값		4.900	5.800	6.000	5.800	5.000
GGD-유	수치해석값	6.102	6.538	6.010	6.501	6.078
	실측값	5.700	6.000	5.700	6.100	5.700

속분포가 가스유도장치를 장착한 경우에는 상대적으로 후드 입구 양쪽 끝단에서 유속이 증가하며 개선되는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 수치해석 및 실험을 통해 얻은 결과값을 Table 5에 정리하여 나타내었다. Table 5의 결과를 토대로, 수치해석값과 실측값에 대한 오차를 확인해 보면 측정 지점별 약 4.5%~9.4% 미만의 차이를 보이는 것으로 확인되었으며, 앞의 3.1절에서 언급한 오차범위 내에서의 신뢰성 부분은 다소 개선되었다고 사료된다. 또한, 3.2절의 가스유도장치 최적형상 도출을 위한 수치해석 결과를 정리한 Table 4에서, 중앙부(Point 3)의 측정 결과치와 나머지 측정지점에서의 결과치가 다소 큰 편차를 보이고 있음을 감안하여, 동일한 형상조건에서 경계분할 및 해석영역을 보다 세부적으로 수정하여 수치해석 결과를 Table 5에 나타낸 것이다. 이는, 실측을 통한 실험과정에서 주변의 여러 가지 요인을 최소화시키고 수치해석 방법에 있어서 해석영역 및 경계조건 설정에서 반복적인 과정을 거쳐 개선시킬 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 후드 내부에 국소배기장치를 설치하여 환기시스템의 전체적인 설계변경 없이 후드의 흡입효율을 향상시키고자 본 연구를 실시하였으며, 가스유도장치의 성능평가와 최적형상 도출을 위해 상용코드인 COMSOL MultiphysicsTM를 사용하여 수치해석을 수행하고, Hot-wire type의 풍속계를 이용하여 유속을 측정하였으며, 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 가스유도장치의 장착 유·무에 따른 성능평가를 위해 수치해석 및 실험을 수행한 결과, 후드 내에 가스유도장치를 장착한 경우가 장착하지 않은 경우에 비해 후드 입구 양쪽 끝단에서 유속

이 상대적으로 상승되는 것을 확인하였다.

(2) 가스유도장치의 최적 형상 도출을 위해 다양한 조건에서 수치해석을 수행한 결과, 가스유도장치를 장착하였을 경우 형성되는 와류를 고려하여 가스유도장치의 폭이 125mm이고, X, Y의 길이 비가 4:6일 때의 최적의 흡입효율을 나타내는 것으로 확인하였다.

(3) 또한, 가스유도장치의 폭과 X, Y의 길이비를 정량적으로 표현할 경우, 후드 입구 선단 길이의 약 25%를 가스유도장치 폭으로 결정하고, X, Y의 길이비를 4:6으로 선정하여 후드의 크기에 맞게 제작하여 장착하는 것이 효율적이라고 판단된다.

(4) 가스유도장치의 최적 형상을 결정하여 실제 후드에 적용하여 수치해석과 실험을 수행한 결과, 가스유도장치를 장착한 경우가 장착하지 않은 경우보다 상대적으로 후드 입구 양쪽 끝단에서 유속이 증가하였고, 수치해석과 실험결과의 오차범위 또한 신뢰성 측면에서 충분히 개선되었음을 확인할 수 있었다.

(5) 결국, 후드 내에 가스유도장치를 장착하였을 경우가 장착하지 않은 경우 보다 후드 양쪽 끝단에서의 포착속도가 향상되어 흡입성능이 개선됨을 확인하였다.

참고문헌

1. Kim, T.H. and Jin, M.K., 1996, Development of Industrial Ventilation System Design Software, Proceedings of the KOSAE, pp. 191-194.
2. Leigh, S.B., 1995, An Evaluation of Airtightness Performance and Analysis of Energy Savings Potential in Apartment Housing, Solar Energy, Vol. 15, No. 3, pp. 119-125.
3. Rie, D.H., 1997, Implementation and innovation of an industrial ventilation facilities., SAREK J, Vol. 26, No. 2, pp. 67-75.
4. Kim, W.K., Han, S.H. and Choi, Y.D., 2007, Velocity Measurement Technique in a Narrow Passage by Hot-Wire Anemometer, Proceeding of the SAREK, Vol. 19, No. 2, pp. 191-201.
5. Kim, K.Y., Baek, S.J. and Sung, H.J., 2000, Fully-Implicit Decoupling Method for Incompressible Navier-Stokes Equations, Proceeding of the KSME, Vol. 24, No. 10, pp. 1327-1325.