

사이클론 청소기 내부 유동에 관한 수치해석적 연구

이찬현, 장혁상*

영남대학교 환경공학과
712-749 경북 경산시 대학로 280

(2014년 7월 10일 접수; 2014년 8월 26일 수정본 접수; 2014년 9월 10일 채택)

Numerical Study on the Internal Flow in the Cyclone Vacuum Cleaner

Chanhyun Lee, and Hyuksang Chang*

Departmental of Environmental Engineering, Yeungnam University
280 Daehak-ro, Gyeongsan-si, Gyeongbuk 712-749, Korea

(Received for review July 10, 2014; Revision received August 26, 2014; Accepted September 10, 2014)

요 약

가정용 진공청소기는 기본적으로 집진장치(dust collector), 프리 필터(pre filter), 모터(motor), 배기 필터(exhaust filter)의 구조를 가지며, 흡입된 먼지가 포함된 공기는 이러한 구조를 지나 깨끗한 공기가 되어 대기로 방출된다. 본 연구에서는 실생활에 사용되고 있는 구조가 다른 2개의 사이클론 청소기를 선정하여 사이클론 청소기 내 집진장치의 내부 공기 유동에 대해 전산유체역학을 적용하여 집진성능을 평가하고자 하였다. 사이클론 콘(cyclone cone) 영역에서 공기의 유선(streamline)을 해석한 결과, 사이클론 콘 영역에서 상당한 선회수를 가지는 것을 확인하였다. 특정 형상의 청소기에 대한 전산해석 결과에서 출구에서의 속도 분포가 매우 불균일한 결과를 나타내었고 이로 인해 집진성능에 악영향이 나타남이 파악되었다. 이 문제를 해결하기 위해 집진장치 형상에 추가적으로 배플을 설치하여, 달라진 속도 분포에 의한 속도 RMS (Root Mean Square) 값의 개선을 평가하였다.

주제어 : 사이클론 청소기, 전산유체역학

Abstract : General household vacuum cleaners consist of dust collector, pre filter, motor and exhaust filter, and the filtered clean air is discharged to the atmosphere. By using the CFD methods, we estimated the internal flow in two types of commercial cyclone vacuum cleaners to evaluate the dust collection performance. From the analysis, it was known that the number of revolution had higher values in cyclone cone region. CFD analysis in a specific showed non-uniform velocity distribution at outlet, which results in the deterioration of particle collection performance. In order to improve flow condition, the installation of baffle was proposed and the values of velocity RMS were estimated.

Keywords : Cyclone vacuum cleaner, Computational fluid dynamics (CFD)

1. 서 론

가정용 진공청소기는 보급률이 82%에 달하는 대표적인 생활가전제품이다. 진공청소기의 기본 원리는 공기의 압력차를 이용하는 것으로 청소기 내부 압력을 낮춤으로써 외부 압력이 청소기 내부 압력보다 높아져 먼지를 포함하는 공기가 청소기로 흡입되는 것이다. 이러한 과정을 설명하기 위해 가정용 진공청소기의 개략도를 Figure 1에 나타내었다. 가정용 청

소기의 구조는 Figure 1에서 보이는 것과 같이 크게 세 부분으로 구성된다. 먼저, 모터에 연결된 팬(fan)의 빠른 회전으로 인해 청소기 내부 압력을 낮추어서 외부에 공기와 먼지를 흡입시켜 집진장치에서 집진되고 집진되지 않은 먼지의 경우 두 개의 필터에서 집진시키는 방식이다. 두 개의 필터는 프리 필터와 배기 필터로 구성되어 있으며, 그 이유는 집진장치에서 집진되지 않은 먼지에 의한 모터의 손상을 방지하기 위함

* To whom correspondence should be addressed.

E-mail: hschang@yu.ac.kr <http://cleantech.or.kr/ct/>

doi: 10.7464/ksct.2014.20.3.283 pISSN 1598-9721 eISSN 2288-0690

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited..

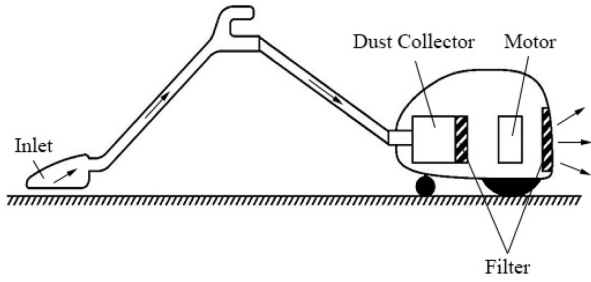


Figure 1. Schematic diagram of the vacuum cleaner[1].

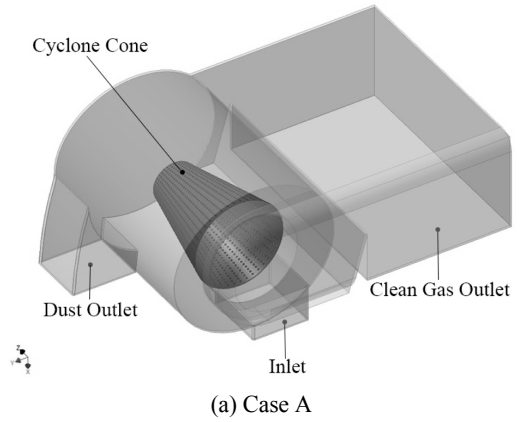
이다. 다음과 같은 구조에서 알 수 있듯이 청소기의 흡입력은 모터의 성능뿐만 아니라 집진장치와 필터에서 생기는 압력강하에 따라 결정된다. 이전의 가정용 진공청소기의 경우, 대부분의 집진장치는 흔히 먼지봉투라고 불리는 먼지 필터를 이용하는 방식을 사용하였다. 먼지 필터를 이용하는 방식은 주기적으로 먼지 필터를 교체시켜 추가적인 비용이 들고, 먼지 필터에 집진되는 먼지에 의해 세균 및 악취를 발생시킬 뿐만 아니라 가장 큰 문제로 먼지가 계속 집진됨에 따라서 흡입력이 크게 저하된다. 이러한 먼지 필터의 단점을 보완하기 위해 원심력을 이용하여 입자를 분리 및 제거시키는 원심력 집진기의 집진원리를 집진장치에 적용시켰다. 이 방법으로 원심력에 의해 분리된 먼지는 먼지 통(dust box)에 집진되고, 분리되지 못한 비교적 작은 크기의 먼지는 필터에 집진하는 방식인 사이클론 청소기를 개발하였다. 이것은 따로 먼지 필터를 구매할 필요가 없어 유지비가 들지 않고, 먼지 필터로 인한 청소기 흡입력 감소를 줄일 수 있다는 장점을 가진다. 많은 청소기 제조업체 및 연구자들에 의해 다양한 형상의 사이클론 청소기가 개발되고 있다. 연구자들의 실험 연구로는 주로 사이클론 콘의 위치 변경, 사이클론 콘의 개수 변경과 같은 형상 변경에 따른 먼지의 집진효율 또는 압력강하에 대해서 연구가 진행되고 있다[2]. 이러한 실험은 청소기 내부에서 일어나는 불필요한 유동으로 생기는 압력강하, 즉 내부의 유동을 파악하지 못하는 단점을 가지고 있다.

따라서 본 연구에서는 전산유체역학적 방법을 이용하여 사이클론 청소기의 집진장치의 유동을 예측하고 평가하였다. 사이클론 청소기로는 서로 다른 2개의 제품을 선정하였다. Case A는 먼지 통과 집진장치를 각각 나타낸 제품으로 청소기를 선정하였고, Case B는 먼지 통과 집진장치를 하나로 제작한 청소기를 선정하였다. 각 Case에 대한 전산유체역학적 방법에 의해 예측된 결과를 기반으로 분석하여 유동 개선이 필요한 부분을 지적하고 개선을 통하여 사이클론 청소기 집진장치 내의 유동 최적화를 목표로 하였다.

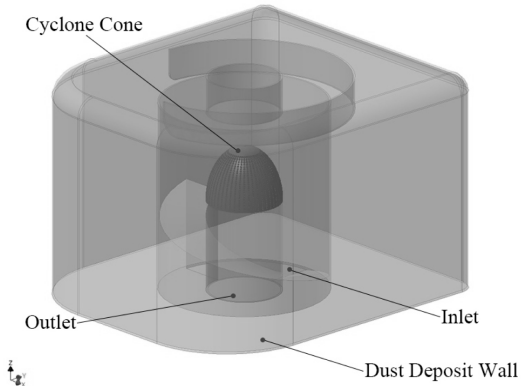
2. 실험 방법

2.1. 해석대상 및 경계조건

정확한 전산해석을 위하여 Case A와 Case B의 실제 사이클론 청소기의 집진장치의 형상과 동일한 크기로 나타내고, 각 부품의 기능과 공기의 유동에 미치는 영향을 파악하였다.



(a) Case A



(b) Case B

Figure 2. Schematic of the cyclone vacuum cleaners.

Case A와 Case B의 위치 정보를 포함한 집진장치의 형상을 Figure 2에 나타내었다. Figure 2에서 보이는 것과 같이 Case A의 경우, 한 개의 입구(inlet)와 두 개의 출구(outlet)로 구성된다. 출구는 먼지 통과 연결된 출구(dust outlet)와 프리 필터로 향하는 출구(clean gas outlet)로 나뉜다. 사이클론 콘은 집진장치의 핵심 요소로 유입된 유체의 선회 운동을 일으킨다. 이는 다공(porous)의 형태이며, 먼지는 유체가 선회 운동을 함으로써 원심력에 의해 공기와 분리되어 먼지 통으로 향하고 집진되지 않은 비교적 작은 먼지의 경우에는 공기와 함께 사이클론 콘을 통과하여 프리 필터로 향할 것으로 예상하여 설계되었다. Case B의 경우, 먼지 통과 다공성 사이클론 콘이 동일한 공간 내에 있으며, 한 개의 배플(baffle)을 경계로 나뉘어져 있음을 확인할 수 있다. 이 형상은 입구에서 들어온 먼지를 포함한 공기가 배플 내부 영역에서 선회 운동을 함으로써 먼지가 원심력에 의해 공기와 분리되어 외부 영역으로 빠져나가 바닥면(dust deposit wall)에 쌓이게 되고, 배플 안쪽 영역의 먼지는 출구를 지나 프리 필터로 향할 것으로 예상하여 개발되었다.

본 연구에서는 위에서 언급된 이론적인 개념을 포함하여, 내부 유동을 전산해석을 통하여 예측하고자 한다. 정확한 예측을 위하여 실험과 적절한 가정을 통한 경계조건을 설정하여 해석의 정확성을 향상시키고자 하였다. 먼저 집진장치 내에 속도를 나타내기 위하여 청소기 입구에서 피토포를 이용하여 동압을 측정하였다. 측정의 정확성을 위해 실험은 3분간 10초 주기로 측정하여 평균하였고, 이러한 과정을 총 3번

실험하여 평균값을 나타내었다. Case A와 Case B의 소비전력을 같게 두고 청소기의 입구에서 동압을 측정한 결과 각각 715.8 Pa과 931.8 Pa을 나타내었다. 이 측정값을 이용하여 전산해석의 경계조건으로 사용하였으며, 청소기 입구에서 집진장치까지의 관에 의한 압력손실은 없다고 가정하였다. 또한 집진장치 내의 유체 유동을 평가하기 위해서 먼지를 함유한 공기가 아닌 오직 온도가 298 K인 공기만 있다고 가정하였다. 이러한 적절한 가정과 경계조건을 통하여 이론적으로 예상되는 흐름과 비교 분석을 진행하였다.

2.2. 전산유체역학의 적용

본 연구에서 전산유체역학 프로그램으로 ANSYS사의 상용코드인 CFX v15.0을 사용하여 사이클론 청소기의 집진장치의 유동을 해석하였으며, Design Modeler와 ANSYS Meshing을 이용하여 해석 대상의 형상 생성 및 격자를 생성하였다.

전산유체역학은 Figure 3과 같은 작업흐름(workflow)을 가진다. 유동 해석의 첫 단계인 해석 대상, 즉 도메인의 형상을 생성하는 것이다. 전산해석 시 요구되는 해석 형상이 있는 영역만을 생성하기 때문에 형상의 외부만을 나타낸 Figure 2와는 차이를 가진다. 따라서 Figure 2에서 내부의 유동이 나타나는 영역만을 모델링하여 나타내었을 때, Case A는 $1.98 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ 의 도메인 부피를 가지고 Case B는 $3.12 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ 의 도메인 부피를 가진다.

전산해석 대상에 해당되는 형상에 대하여 격자를 생성하였다. Case A와 Case B의 두 형상은 모두 곡면 및 복잡한 형상이기 때문에 사면체 격자로 구성하는 것이 적합하다. Case A는 노드(node) 수가 67,974개이고 요소(element)는 350,378개로 구성된다. 다음으로 Case B는 노드수가 55,496개이고 요소는 285,757개로 구성된다. 격자의 질(quality)은 ANSYS Meshing 내 격자의 비대칭도(skewness) 값으로 판단하였으며, 0~1 사이의 값을 가지고 0에 가까운 값을 가질수록 격자의 질이 좋으며 0.95 이상의 값을 가질 시 발산되거나 정확한 해석 결과를 나타내지 못한다. 따라서 본 논문의 Case A와 Case B의 격자는 격자의 비대칭도가 큰 지점에 대해 격자를 작게 나누

어서 격자의 질을 높여주었으며, 각각 0.89와 0.93의 값을 가진다. Case A는 Case B에 비해 도메인의 부피의 크기가 작는데 격자의 수가 많은 이유는 Case A가 많은 곡면을 가지고, 사이클론 콘 영역을 지나 출구로 가는 유동이 매우 복잡할 것으로 예상하여 더 많은 격자를 구성할 필요성이 있어 격자 크기를 줄여서 구성하였다.

계산하기에 앞서 경계조건을 설정한다. 먼저 도메인 내의 유체에 대한 물성치, 입구 및 출구에 대한 경계조건을 설정한다. 유체는 비압축성 유체로 가정하였다. 해석에 사용되는 유체는 공기로 온도가 298 K에서의 점성, 밀도와 같은 물성치를 가진다. 입구 및 출구에 대한 경계조건은 유체 속도, 질량 유량, 압력으로 나타낼 수 있다. 정확한 해석을 위하여 청소기의 경우, 출구에서 유체를 빨아들이기 때문에 출구에서 각 Case 별 측정된 압력을 음의 값으로 지정하고, 입구에 압력은 0 기압을 지정해주었다. 따라서 해석 시 출구에서의 음의 압력으로 인해 유체가 입구에서 출구로 빠져나간다. 도메인 내 유동은 레이놀즈 수(Reynolds number)에 따라 층류 또는 난류의 유동을 가진다. 레이놀즈 수는 식 (1)과 같이 나타낸다.

$$Re = \frac{\rho_{air} V D}{\mu_{air}} \tag{1}$$

위의 식에서 V 는 관내 평균 속도이고 D 는 원형 관의 직경을 나타내는데, 본 연구에서는 사각형 관이기 때문에, D 를 수력학적 직경(hydraulic diameter)으로 대체된다. 레이놀즈 수가 약 2100보다 작으면 층류, 4000보다 크면 난류를 가지고, 이 두 값 사이에 있는 유동은 층류와 난류의 상태가 불규칙한 형태로 전환되는 천이 영역이다. 본 논문의 경우 측정된 동압을 속도로 나타내어 도메인 내 평균 속도로 가정하여 계산했을 때, Case A와 Case B의 레이놀즈 수는 각각 83,985와 83,245를 나타내기 때문에 Case A와 Case B의 도메인 내 유동은 난류를 가질 것으로 예측된다. 따라서 각 Case의 도메인에서 난류모델을 사용하여 난류유동에 대해 해석하였으며, 사용된 난류모델은 Standard $k - \epsilon$ 으로 난류 운동에너지 k 와 난류 운

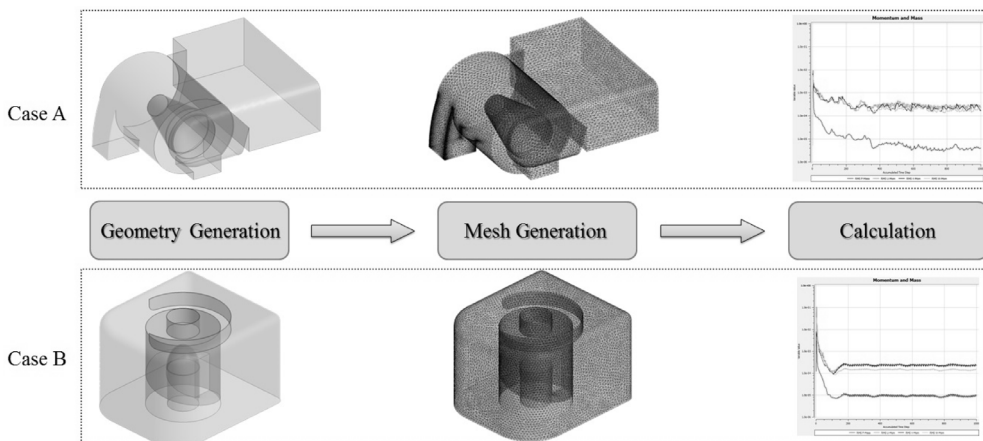


Figure 3. CFD workflow.

동 에너지의 소산을 ε 에 대한 수송 방정식(transport equation)을 기반으로 한 반경험적(semi-empirical) 모델이다. Standard $k-\varepsilon$ 모델은 층류에서의 점성에 대응하는 와류 점성(eddy viscosity) 개념을 적용하여, k 와 ε 의 조합으로 나타낸다. 관련된 자세한 식과 개념은 참고문헌에서 찾아볼 수 있다[8-9]. 마지막으로 Case A와 Case B 형상의 사이클론 콘을 해석하는 방법으로 첫 번째로 실제 형상과 동일하게 나타내는 방법과 두 번째는 간단하게 형상을 나타낸 후, CFX에 내장된 다공 모델(porous model)을 이용하여 설정해주는 방법이 있다. 첫 번째 방법을 이용하면 형상과 동일하게 생성되기 때문에 특별히 지정해주는 경계조건 없이 계산이 가능하다는 장점을 가지지만, 단점으로 형상이 복잡해지고 다공으로 인한 개별 격자의 크기가 작아짐에 따라 격자의 수가 증가할 뿐만 아니라 격자의 질이 떨어지게 되며, 해석시간 또한 증가한다. 이러한 단점을 방지하기 위해서 만들어진 다공 모델은 형상이 비교적 간단해지기 때문에 형상을 생성하는 시간적 노력이 감소할 뿐만 아니라, 실제 형상에 격자를 생성하였을 때 나타나는 격자의 질에 대한 부정적인 영향이 나타나지 않는다. 다공 모델을 설정해주는 방법으로는 다공으로 인해 발생하는 압력강하를 지정해주는 방법과 부피 공극률(volume porosity)을 지정해주는 방법이 있다. 부피 공극률이란 전체 부피와 유체가 통과가능한 부피의 비로 정의된다. 본 논문에서는 각각 사이클론 콘에 대한 정확한 압력강하 값을 측정하기에는 적합한 실험조건을 구성하는데 어려움이 있기 때문에 공극률을 지정해주어 모델링하였다. Case A와 Case B의 공극률은 각각 52%와 72%이다. 그 밖에 모든 부분에 대해서는 벽 경계조건으로 설정해주었다. 여기서 Figure 2(a)에 먼지 출구의 경계조건을 벽으로 나타낸 이유는 도메인 내 공기의 유동만을 분석하기 때문에 공기의 유동이 없는 먼지 통을 모델링하지 않고 벽으

로 지정하였다. 이는 불필요한 계산 영역을 나타내지 않음으로써 계산 시간을 줄일 수 있다.

마지막으로 CFX를 이용한 수치 계산의 수렴을 판단하는 방법으로는 세 가지로 나타낼 수 있다[9]. 첫 번째는 반복계산에서 이전 반복계산의 해와 현재 반복계산에서의 해의 차로 나타내는 잔차(residual) 값이 정해진 값 이하로 떨어지는 경우와 두 번째는 반복계산이 계속 이루어 질 때 잔차의 기울기 변화가 거의 없거나 동일한 형태로 진동할 때, 마지막으로 도메인 내에서 전체적인 질량(mass), 운동량(momentum), 에너지(energy) 등의 값이 입구와 출구에서 같은 값을 가지는 경우이다. 본 논문에서는 잔차가 10^{-4} 이하일 때 수렴이 된다고 설정하였지만, Figure 3에서 보는 것과 같이 계속된 반복계산에서 잔차가 10^{-3} 을 유지하고 Case A의 경우 그래프가 진동하며, Case B의 경우 기울기의 변화가 거의 없게 나타난다. 그 이유는 해석 대상에서 유동이 와류를 형성하기 때문에 수렴에 어려움을 가지기 때문이다. 따라서 각 Case 별로 1,000번의 계산을 진행하여 계산 완료 후, 두 번째와 세 번째의 수렴 판단 방법을 사용하여 수렴되었다고 판단하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 전산 해석 결과

본 논문에서는 서로 다른 2개의 사이클론 청소기 내 집진 장치에 관한 해석을 진행하였다. Case A와 Case B의 해석 결과는 Figure 4에 나타내었으며, 각 Case 별로 형상의 원점을 기준으로 X-Y 면, X-Z 면, Y-Z 면에서 속도 분포를 나타내었다. 두 Case 모두 공통적인 결과로 사이클론 콘 주위에서 상대적으로 빠른 속도 분포를 가지는 것으로 나타나며, 그 외의 지역에서는 낮은 속도 분포를 가지는 것으로 관찰되었다. 또

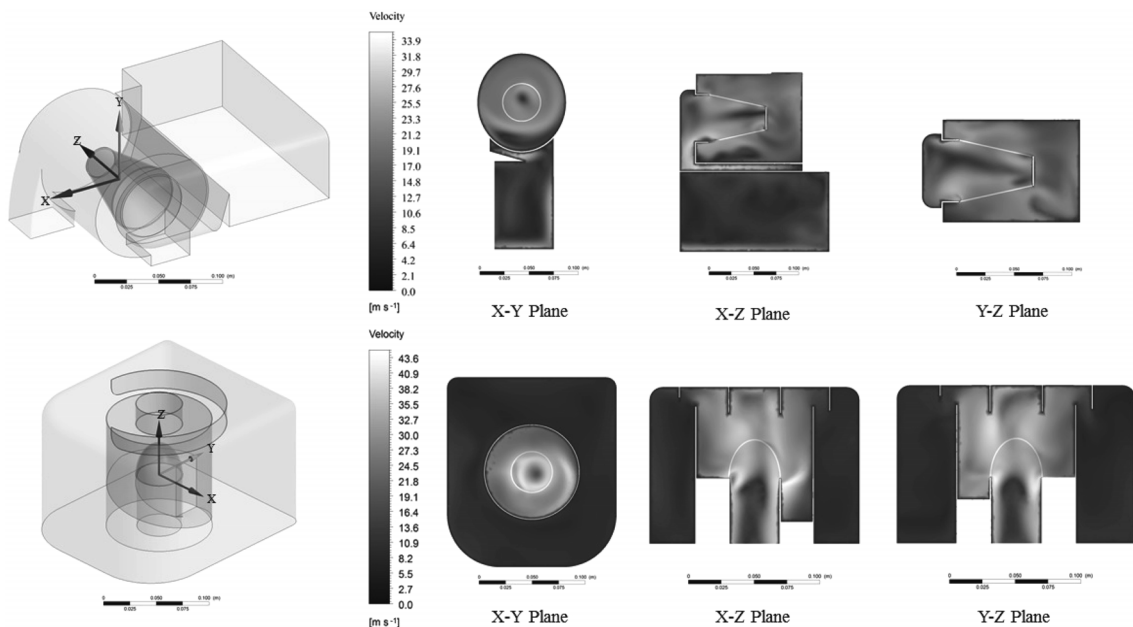


Figure 4. Velocity distributions of each plane.

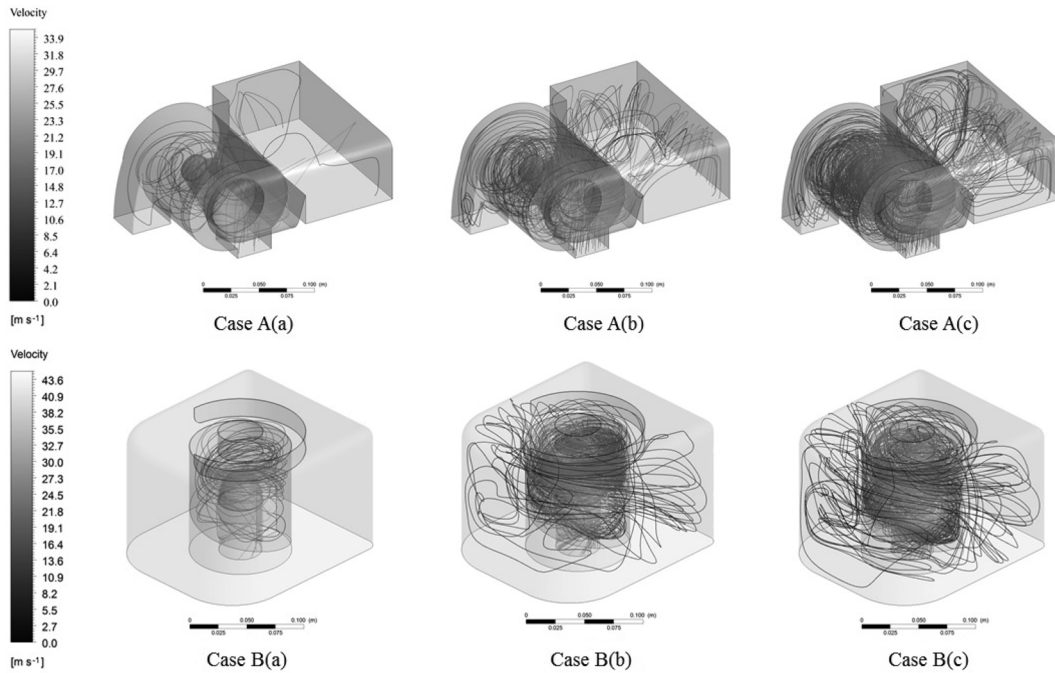


Figure 5. Distributions of velocity streamlines : (a) streamlines number = 10, (b) streamlines number = 50, (c) streamlines number = 100.

한 사이클론 콘 영역인 다공 영역에서 일시적인 속도 증가가 나타나고 있으며, 이는 다공 영역으로 유체가 들어가면서 입구 단면적이 작아져 속도가 증가되었다고 판단된다.

단면에서 속도의 분포로 청소기내 유동을 분석하고 이론적인 예측과 비교하기에는 다소 부족한 부분이 존재하기 때문에 유체의 흐름을 하나의 선으로 가정하여 나타낸 유선을 이용하여 Figure 5에 나타내었으며, 유선의 개수를 10개, 50개, 100개로 나누어 나타내었다. Figure 5를 통해서 두 사이클론 콘 주위에서 선회 운동을 하는 유선을 볼 수 있으며, 상당한 양의 선회수가 존재하는 것을 확인할 수 있다. 이것은 원심력 집진기에서 집진 효율에 영향을 미치는 변수인 회전수와 같다고 할 수 있다[10]. 이러한 회전수는 집진 효율과 비례적인 관계를 가짐으로, Figure 5와 같이 사이클론 콘 주위에서 발생하는 선회수의 증가는 집진 효율에 영향을 미친다. Case B의 경우 유선의 수가 증가하면서 집진장치 내 배플 외부영역에서는 불안정하고 느린 유선을 가지는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과는 집진장치 바닥면에 쌓였던 먼지의 재비산을 방지할 수 있다. Case A는 사이클론 콘이 있는 영역에서는 일정한 속도로 선회하고 있지만, 사이클론 콘을 통과해서 프리 필터로 가는 유선이 집진장치의 윗면을 따라 한 쪽 모서리로 집중되어 흘러가는 것을 확인할 수 있다. 이러한 현상을 자세히 확인하기 위해 출구에서의 속도 분포를 Figure 6에 나타내었다. Figure 6에서 확인할 수 있듯이 벽면 한쪽으로 빠른 속도를 나타내고 있다. 이러한 현상이 계속되면 프리필터의 효율적인 사용이 불가능할 것으로 판단된다. 유동이 집중되는 부분만 필터의 여과가 진행되게 되면 청소기의 흡입력을 저하시키고 프리필터의 역할을 못하게 되어 사이클론에 의해 집진되지 않은 먼지가 프리필터에서 여과되지 않고 모터 및

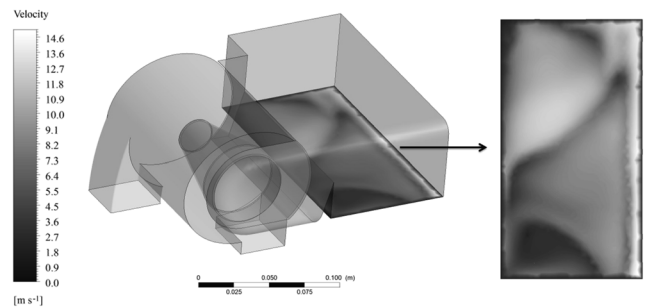


Figure 6. Velocity distributions of outlet.

배기 필터로 향하여 전체적인 청소기 수명에도 영향을 끼치게 된다. 본 연구의 목적은 Case A와 Case B의 내부 유동 분포를 예측하기 위함이었지만, Case A의 경우 유동이 한 영역으로 극심히 편중되기 때문에 집진장치 내의 유동에 대한 개선이 필요하다고 판단되며, 유동 균일화를 위한 추가적인 해석이 실시되었다.

3.2. 형상 변경에 따른 유동분포

사이클론 청소기의 집진장치 내에서 유동을 전산유체역학을 적용하여 예측하였다. 그 결과를 바탕으로 Case A의 내부 유동의 문제점을 지적하고 집진장치에 내부 배플을 설치하여 문제를 해결하고자 하였다. Park et al.[6]은 전산해석을 이용하여 도메인에 배플을 설치하여 유동 균일도 변화에 관한 연구를 진행한 바 있다. 이를 바탕으로 이전 연구에서 유동 균일도를 나타내는 값인 RMS(%) 값을 이용하여 집진장치 출구에서의 속도의 균일도를 평가하였다. 속도에 대한 RMS(%)는

식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$RMS = \frac{\sqrt{\frac{\int (v - \bar{v})^2 dA}{A}}}{\bar{v}} \times 100 \quad (2)$$

여기서 \bar{v} 는 평균 속도이며 v 는 해당 영역의 속도, A 는 해당 영역의 면적이다. RMS(%)는 전체 영역 중 특정 영역으로 유동이 집중되는 경우 100%에 가까운 값을 나타내며, 전체 영역에 균일한 유동 분포를 가질 경우 0%에 가까운 값을 나타낸다. 기본 형상에 대해서 RMS(%)는 51.25%이며, 따라서 이보다 작은 수의 RMS(%)를 목표로 전산 해석을 진행하였다.

Case A의 기존 집진장치의 형상을 유지한 채 배플을 설치하여 출구에서의 유동 균일도 연구는 크게 두 가지 작동 변수를 나타낼 수 있으며, 그 변수로는 RMS(%)와 압력 강하이다. 배플을 적용하게 되면 압력 강하가 커지는 현상이 일어날 수 있다. 압력 강하가 커지면 청소기의 흡입력이 저하되기 때문에 전체적인 흡입력이 낮아진다. 따라서 배플의 설치에 따른 RMS(%)와 압력강하 값을 서로 비교하여 최적의 조건을 찾는 것이 중요하다.

배플의 형상은 가로 0.008 m이고 세로가 0.137 m이고 두께가 0.001 m이며, 총 부피가 $1.096 \times 10^{-6} \text{ m}^3$ 이다. 집진장치 내에 한 개의 배플만을 설치하여 RMS(%)의 변화를 예측하였다. 배플을 적용하여 나타낸 형상은 Figure 7과 같으며, 배플에 나타난 좌표의 z 축을 중심으로 각각 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90°를 회전하여 계산하였다. 해석 격자는 배플에 격자의 수를 설정하여 격자에 의한 해석 결과의 오차를 줄이고자 하였다. 그 결과, 각 각도 별 RMS(%) 값과 압력 강하 값을 Figure 8에 나타내었다. RMS(%)의 경우 60°에서 34.50%로 가장 낮게 나타났으며, 압력 강하는 배플의 각도에 따라 변화하며 배플이 없는 기본 형상보다 평균적으로 63 Pa 정도 큰 것으로 나타났다. 계산 영역 내에 유체가 선회 운동을 하기 때문에 계산 결과의 일관성이 없게 나타난 것으로 판단된다. Figure 9는 가장 낮은 RMS(%)를 나타내는 배플의 각도가 60°일 때의 속도 분포를 나타내었다. 이 결과는 배플을 설치함으로써 출구로 향하는 유체의 유동이 균일해짐에 따라 프리필터의 효율적인 사용이 가능할 것으로 판단된다.

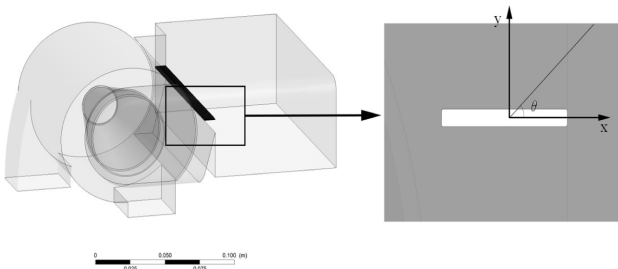


Figure 7. Schematic of installed baffle on Case A.

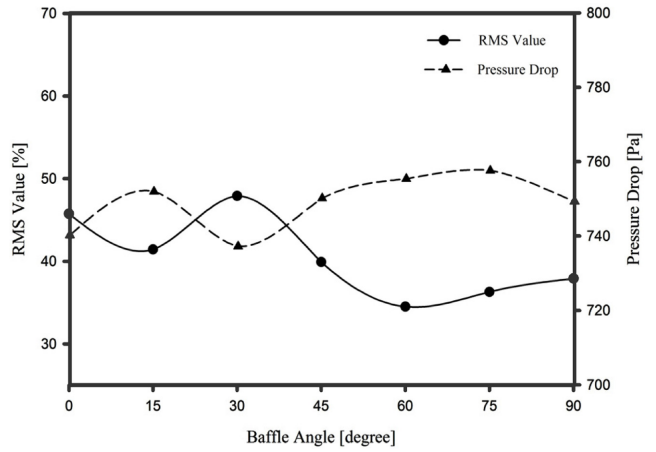


Figure 8. Velocity of RMS value and pressure drop for each baffle angle.

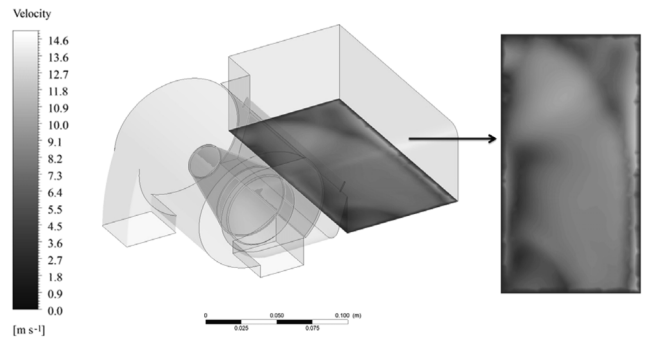


Figure 9. Distributions of velocity of installed 60° baffle on Case A outlet.

4. 결론

본 연구에서는 사이클론 청소기의 핵심 요소인 집진장치 내에서의 공기 유동을 전산유체역학을 통하여 분석하였다. 집진장치로 Case A와 Case B의 상용되는 제품을 선정하고 분석하여, 내부 유동을 예측하고 평가하였다. 측정하여 나타낸 경계조건을 바탕으로 계산한 결과 Case A와 Case B 모두 사이클론 콘에서 빠른 속도로 선회하는 유선을 가지는 것을 확인할 수 있었다. Case A의 경우, 출구로 나가는 유선이 한쪽으로 쏠리는 경향을 관찰하여 필터의 효율적인 사용에 영향이 있을 것이라고 예상하여 추가적인 해석을 실시하였다. Case A의 집진장치의 형상을 유지한 채, 배플을 설치하여 속도 분포의 균일도를 평가했다. 정량적인 속도 분포의 균일도를 평가하기 위해 RMS(%) 값을 이용하였으며, 압력 강하와 비교하여 최적의 조건을 나타내었다. 그 결과 배플의 각도가 60°에서 출구에서의 속도 분포가 가장 균일하게 나타났고, 배플을 설치함에 따라 배플이 없는 기본 형상에 비해 모든 각도에서 압력강하는 평균적으로 63 Pa이 높게 나타났다. 이러한 결과는 사이클론 청소기의 집진장치의 형상을 설계 시 효율적으로 사용될 수 있다고 예상된다.

감사

이 논문은 2014년도 정원이앤씨의 연구비 지원으로 수행되었습니다(No. 214C000450).

References

1. Lee, J. K., "Performance Improvement and Optimal Design of a Household Vacuum Cleaner Using Cyclone Technology," Final Report, LG Electronics, Inc., 1999.
2. Ha, G. H., Kim, E. D., Kim, Y. S., Lee, J. K., Ahn, Y. C., and Kim, D. G., "A Study on the Optimal Design of a Cyclone System for Vacuum Cleaner with the Consideration of House Dust," *J. Mechanical Sci. Technol.*, **25**(3), 689-694 (2011).
3. Seo, M. H., and Chang, H., "Computational Study on Design of the AIG for the Enhancement of Ammonia Injection in the SCR System," *Clean Technol.*, **18**(4), 410-418 (2012).
4. Lee, J. H., Hong, S. G., Joo, J. M., and Oh, S. K., "Noise Reduction Method and Sources of Cyclone Sound for Vacuum Cleaner," *Korean Soc. Noise Vibrat. Eng.*, **15**(4), 452-456 (2005).
5. Kim, J. Y., Kwac, L. K., An, J. S., Yang, D. J., Song, K. S., and Park, K. H., "The Flow Analysis for Vibration and Noise Diagnostic of Vacuum Cleaner Fan Motor," *Trans. Korean Soc. Machine Tool Eng.*, **13**(4), 56-63 (2004).
6. Park, S. M., Chang, H., and Zhao, T., "Numerical Study on the Arrangement of AIG for Determining the Concentration Distribution in the Package Type of Small Scale SCR System," *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **35**(5), 368-377 (2011).
7. ANSYS, ANSYS CFX-Solver Modeling Guide, ANSYS inc., 2011.
8. ANSYS, ANSYS CFX-Solver Theory Guide, ANSYS inc., 2011.
9. Patankar, S. V., Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, McGraw-Hill, 1980.
10. Wark, K., Warner, C. F., and David, W. T., Air Pollution : Its Origin and Control 3rd Edition, Addison-Wesley inc., 1998.