오일미스트용 사이클론 집진기에 관한 기초 설계 -오일미스트 및 슬러지 입자 융합연구-

장성철*, 안휘웅⁺, 이찬규⁺⁺

(Manuscript received: Feb, 3, 2012 / Revised: Jul, 25, 2012 / Accepted: Dec, 18, 2012)

Fundamental Design of Cyclone Collector for Oil Mist

Sung-Cheol Jang*, Hwi-Woong Ahn⁺, Chan-Kyu Lee⁺⁺

Abstract

Dust collecting performance of cyclone collector for oil mist was analyzed in the study. The purposes of using cutting fluid during cutting have been colling, lubricating, chip washing and anti-corroding. However, the present manufacturing industry restricts the use of cutting fluid because cutting fluid contains poisonous substances which are harmful to the human body. Also, the optimum design oil-mist collector. The new oil mist collector was designed. In the near future, this device must be tested in the real machining center and CNC machine. Cutting using oil-mist showed better cutting characteristics than dry, air and fluid cutting with respect to by cutting force, tool wear and surface roughness. The model(A, B Type cyclone) of the set of fixture and alveolus are made by using a CAE software. Finally, we have obtained a model A Type solution by using orthogonal array. Therefore, it could be confirmed that as the model-A was increased and model-B was decreased, cut diameter was decreased.

Key Words : Oil-Mist collector(오일미스트 집진기), Cutting fluid(절삭유체), Colling system(냉각장치), Optimum design(최적설계)

1. 서론

前報⁽¹⁾에서는 오일미스트에서 발생하는 칩 및 더스트의 배출량에 따른 필터 성능을 측정한 후 스크류 사이클론을 설계하여 필터 개수가 획기적으로 감소된 집진기를 설계 및 제작하였다.

기존의 공작기계 작업시에는 공작물의 냉각 및 윤활을 위해 수용성의 절삭유를 공작물에 다량으로 쏟아 붓는 문제가 있어 환경적인 걸림돌이 되어왔다. 최근의 오일미스트⁽¹⁾는 안개화한

극미량의 윤활과 압축공기를 이용하여 공작물의 가공지점에 고압의 공기를 분사시켜 탁월한 윤활성과 높은 냉각성으로 칩을 쉽게 분리시켜 공작물의 표면조도 및 정밀도를 향상시키는 분사장치이다.

그러나 공작물의 가공지점에 고압의 압축공기를 직접 분사시킴으로 인해 가공시 발생하는 칩과 미스트가 혼합되어 작업환경이 쾌적한 것만은 아니다. 이를 위해 오일미스트 제조업체인 D社에서는 작업자들의 보다 나은 환경과 작업조건 구축을 위

* 한국폴리텍대학 항공캠퍼스 항공메카트로닉스과

주소: 664-708 경남 사천시 이금동 438번지

+ 한국폴리텍7대학 창원캠퍼스 메카트로닉스과

++ 거제대학 기계공학과

✉ Corresponding Author E-mail: scjang@kopo.ac.kr

Fig. 1 Mesh generation for CFD analysis

Table 1 Number of nodes and elements

	Model-A(14.1m/s)	Model-B(8.0m/s)
Number of Nodes	112791	113463
Number of Elements	372713	376948
Tetrahedra	243357	250186
Pyramids	4586	5146
Wedges	124770	121616

해 칩과 더스트 배출이 용이한 오일미스트용 사이클론 집진기 개발을 의뢰하였다.

오일미스트용 사이클론 집진기에 관한 실질적인 연구는 2000년대 중반에 들어와서 본격적으로 시작되어 응용사례가 국내외에서 다수 발표되고 있다⁽²⁻³⁾. 그러나 고압의 압축공기와 안개화한 극미량의 절삭유에 관한 집진기에 대한 연구는 수행된 경우가 없는 것으로 조사되었다.

이를 위해 오일미스트용 사이클론 집진기내에서의 정상상태, 비압축성 유동상태를 분석하기 위하여 3차원 전산유동해석을 수행하였다. 3차원 난류 유동을 지배하는 보존형방정식은 연속방정식 및 레이놀즈-평균 Navier-Stokes(RANS) 방정식에 기초하여 작동유체를 25℃의 공기로 가정하였다. 오일미스트에 관한 선회유동을 분석하기 위한 수치해석방법으로 등방성 난류라는 가정과 레이놀즈 응력 항에 대한 미분형 수송방정식의 해를 직접 구하는 RSM을 적용하였다.

본 연구에서는 오일미스트용 사이클론을 제작하기 위한 전단계로서 오일미스트 집진기 내부의 난류유동특성을 분석하기 위해 선회유동형태에 적합한 BSL-Reynolds Stress Model을 사용하였고, 슬러지 입자는 공기의 거동에 의해 영향을 받는 One-Way Coupled로 설정하여 수치해석을 수행하였다.

2. 전산유체해석 방법론

3차원 난류유동을 지배하는 보존형방정식은 연속방정식 및 레이놀즈-평균 Navier-Stokes(RANS) 방정식에 기초하여 작

Fig. 2 Boundary condition

Table 2 Material properties of sludge

Property	Sludge			
State	Solid			
Density	490kg/m ³			
Particle diameter	Min.	Max	Mean	Std.
Distribution	10 μ m	30 μ m	20 μ m	4 μ m

동유체를 25℃의 공기로 가정하였다. 사이클론과 같이 소용돌이(swirl) 유동이 발생하는 복잡한 선회유동현상을 예측하기 위해 k- ϵ 모델, 대수응력 모델(ASM), 그리고 Reynolds-응력 모델(RSM, Reynolds stress model) 등이 주로 적용되고 있지만, 등방성 난류라는 가정의 표준 k- ϵ 모델은 선회유동에서 과도한 난류점성계수와 비현실적인 접선방향속도가 예측되어 수치해석결과의 정밀도가 다소 떨어진다. 또한 ASM은 소용돌이 유동내부의 재순환 영역과 랭킨 와(Rankine vortex)를 예측하기가 어렵다. 따라서 본 연구의 오일미스트에 관한 선회유동을 분석하기 위한 수치해석 방법으로 등방성 난류라는 가정과 Reynolds-응력 항에 대한 미분형 수송방정식의 해를 직접 구하는 RSM을 적용하였다.

이러한 수치해석 모델을 활용하여 강한 소용돌이의 선회유동현상이 발생하는 오일미스트 내 난류유동특성을 분석하기 위해 상용수치해석 툴인 Ansys -CFX를 사용하였다. 선회유동형태에 적합한 BSL-Reynolds Stress Model을 사용하였고, 슬러지 입자거동은 One-Way Coupled 로 설정하여 수치해석하였다.

Fig. 1은 두 가지 모델에 관한 격자분할 상태도를 도시한 것이다. 격자망은 사면체와 프리즘 및 썬기 체적요소들로 생성하였으며, 그 세부내용을 Table 1에 표시하였다.

3. 경계조건

Fig. 2는 사이클론 내부유동에 대한 경계조건을 도시한 것이다. 입구경계는 두모델에서 동일한 0.0787m³/s 유량이 설정되도록

각각 8m/s 와 14.1m/s의 속도 값을 인가하였다. 출구는 압력조건을 사용하였으며, 대기압 상태로 설정하였다. 벽면은 No Slip과 Rough Wall 조건으로 가정하였다. 또한 본 전산유동해석에 활용된 슬러지 입자의 물리적 특성을 Table 2에 나타내었다.

Fig. 3 Velocity distribution in cyclone

Fig. 4 Streamline distribution of sludge particles

4. 사이클론 내부 유동해석 결과

Fig. 3은 두 모델에 대한 사이클론 내부에서 공기의 속도벡터 및 유선의 분포를 나타낸 것이다. Fig. 3의 아래 단면에서의 공기의 속도벡터를 보면 외측부에서는 하부로 유동이 존재함을 볼 수 있으며 내측에서는 외측을 통하여 하부로 이동한 공기가 다시 상부로 이동하고 있다. 따라서 하부의 이동은 주로 외측을 통하여 이루어지고 상부의 이동은 중심부를 통하여 이루어지는 것으로 판단된다.

Fig. 4는 입구에서 유입된 슬러지 입자와 공기에 관한 궤적을 함께 도시한 것이다. 입구를 통해 들어간 공기는 사이클론 내부의 베인을 통과하면서 나선형으로 회전하고 원심력에 의해 사이클론 벽면을 타고 아래로 점차적으로 내려가는 것을 두 모델에서 확인할 수 있다. 슬러지는 입자간 충돌 혼합으로 인해 운동에너지를 잃고 공기와 분리되어 벽면을 타고 집진통 쪽으로 가라앉게 되며 공기는 출구 연결관을 통해 잘 배출되는 것을 볼 수 있다.

Fig. 4에서 공기와 슬러지의 분포를 살펴보면, 공기의 밀도가 슬러지 입자보다 상대적으로 작기 때문에 작은 원심력으로 인해 사이클론 내측에 분포하게 되고, 반면에 슬러지는 큰 원심력

Fig. 5 Air pressure & turbulence kinetic energy distribution in Y-Z section plane

(a) Model-A (14.1m/s)

(b) Model-B (8.0m/s)

Fig. 6 Tangential velocity at the end of vane

이 작용하여 외측에 집중되는 현상을 볼 수 있다. Fig. 4에서 두 모델의 원심력의 강도를 살펴보면 모델-1이 모델-2에 비해 더 많은 선회운동이 나타나는데, 이는 모델-1이 더 큰 원심력을 갖기 때문이라 사료된다.

Fig. 5는 Y-Z 평면에서의 공기의 압력과 난류운동에너지의 분포를 나타낸 것이다. 공기의 압력분포를 보면, 사이클론 외부벽면에서 높은 압력이 나타나고, 내부로 들어올수록 낮은 압력분포도를 보인다. 난류운동에너지의 분포는 배출구 연결 관 벽면에서 높게 나타나는 것을 볼 수 있으며, 이는 이 부분에서 속도와 혼합효과(mixing effect)에 의해 급격히 증가하는 것

Table 3 Tangential and Axial velocities at the end of vane(Unit: m/s)

	r-dir(m)	Velocity	Velocity-v
Model-A	0.0284	30.67	24.94
	0.0330	28.10	21.68
	0.0370	26.40	20.02
	0.0400	25.29	18.90
	0.0479	21.39	16.43
	0.0498	7.21	6.20
Model-B	0.0365	19.74	16.77
	0.0402	18.89	15.64
	0.0450	17.74	14.49
	0.0503	16.45	13.32
	0.0550	15.49	12.51
	0.0600	14.57	11.76

을 알 수 있다. 이러한 효과로 인해 난류운동에너지가 출구부분으로 공기를 잘 유출시키는 작용을 하고 있음을 알 수 있다. Fig. 4에서 언급하였듯이 원추부 단면을 축소시킨 모델-A의 경우에 원심력이 커져 사이클론의 분리효율은 향상될 것으로 판단되나, 동시에 또 다른 성능인 압력손실 역시 증가하는 것을 볼 수 있다. 사이클론 내 접선속도는 유체로부터 입자를 분리시키는 원심력을 야기 시키는 유동성분으로서 슬러지 입자의 분리효율에 직접적인 영향을 미치는 중요한 인자이다. 중심부의 압력은 공기의 유출압력을 표현한 것으로, 이 부분에서 속도가 높기 때문에 압력이 반대로 낮게 생성된다. 속도분포도에서 입구부분에서 들어온 유동은 사이클론의 내부를 회전하는 유동을 보이고 있으며, 슬러지 입자가 공기에 비해 밀도가 높기 때문에 회전유동의 원심력에 의해 사이클론의 외부벽면에 분포함으로 내부에서 속도가 높게 발생하는 것을 볼 수 있다.

Fig. 6은 배인의 하단 끝부분에서 인접 배인 wall과의 평균위치에 대한 속도성분들을 도시한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 두 모델 모두 접선속도(Velocity-v)의 형태는 비슷하지만 그 크기에는 다소 차이가 있다. 모델-A가 모델-B보다 더 큰 접선속도가 생성됨을 볼 수 있다. 이러한 유동특성으로부터, 높은 접선속도는 원심력을 증가시켜 사이클론의 중요한 성능 중의 하나인 분리효율에 직접 관여함을 알 수 있다. 그리고 동일한 지점에서의 수직방향 속도성분(Velocity-w) 역시 모델-A가 모델-B에 비해 크게 발생함을 알 수 있다.

Table 3에 각 모델에 관한 속도성분들을 나타내었다. Fig. 3 ~ Fig. 6으로부터 모델-A의 경우에 원심력이 커져 사이클론의 효과는 향상될 것으로 예측되지만, Fig. 5에서와 같이 압력손실 또한 증가하는 상반된 현상이 발생한다. 이는 두 가지 성능을 동시에 만족시킬 수 있는 설계, 즉 사이클론 분리기의 형상 최적화설계가 요구된다.

5. 결 론

본 연구에서는 오일미스트용 사이클론을 제작하기 위한 전단계로서 오일미스트 집진기 내부의 난류 유동특성을 분석하기 위해 선회유동형태에 적합한 BSL-Reynolds Stress Model의 수치해석을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 슬러지는 입자간 충돌로 인하여 운동에너지를 잃고 공기와 분리되어 벽면을 타고 집진통 쪽으로 가라앉게 되며 공기는 출구 연결관을 통해 잘 배출되는 것을 알 수 있다.
- (2) 난류운동에너지의 분포는 배출구 연결관 벽면에서 높게 나타나는 것을 확인할 수 있다.
- (3) 모델-A가 모델-B보다 더 큰 접선속도가 생성됨을 알 수 있고, 동일한 지점에서의 수직방향 속도성분역시 모델-A가 모델-B에 비해 크게 발생함을 알 수 있다.

References

- (1) DMC, 2009, "HiMist Manual", DMC Inc.
- (2) Jang, S. C., Jung, W. B., Park, L. B., Jo, J. H., Shin, H. J., and Lee, C. W., 2010, "The Development of Oil-Mist Collector for MCT Sticking," *Proc. of KSMTE Fall Annual Meeting*, pp. 99~100.
- (3) Seo, J. M., and Park, J. H., 2000, "The Prediction of Injection Distances for the Minimization of the Pressure Drop by Empirical Static Model in a Pulse Air Jet Bag Filter," *J. of KENSS*, Vol. 20, No. 1, pp. 25~34.
- (4) Jo, Y. H., 2010, *OLE MIST COLLECTOR*, KR Patent: 100981584.
- (5) Lee, C. W., and Jang, S. C., 2010, "A Fundamental Study on Offshore Structures of High Pressure Control Valve," *J. of KSMTE*, Vol. 19, No. 6, pp. 883~888
- (6) ASME, 2004, "ASME BOILER & PRESSURE VESSEL CODE Part D,"