

전산유체해석을 이용한 하이드로사이클론 분리기 설계방법 검증

정남균*

*인하공업전문대학 기계공학과

e-mail:nkjung@inhac.ac.kr

Verification of the Design Method for Hydrocyclone Separator using Computational Fluid Dynamics

Nam-Gyun Jeong*

*Dept. of Mechanical Engineering, Inha Technical College

요약

사이클론 분리기는 내부 챔버에서 원심력과 중력을 이용하여 고체 입자를 유체로부터 분리시키는 장치이다. 사이클론 분리기 중에서 작동유체로 물을 사용하는 분리기를 하이드로사이클론 분리기라고 하는데, 토양, 석탄, 시멘트 슬러리 등과 같이 액체에 부유된 고체의 비중이 1보다 큰 고체 혼합물의 탈수를 목적으로 개발되어왔다. 본 논문에서는 기존에 제시된 하이드로사이클론 분리기 설계 모델을 바탕으로 하이드로사이클론을 설계하고, 전산유체해석을 이용하여 설계된 하이드로사이클론 분리기의 성능이 설계 모델을 이용한 설계 시에 가정했던 성능과 얼마나 차이가 있는지 비교하였다.

계 모델을 바탕으로 설계인자들을 결정한 후 장치의 성능을 전산유체해석을 이용하여 검증하였다.

1. 서론

원심력을 이용하여 유체 속에 내재된 고체 입자를 분리하는 장치를 사이클론 분리기(Cyclone separator)라고 하는데, 원통형실린더와 역상의 원뿔형실린더로 구성된 내부 챔버에서 원심력과 중력으로 고체 입자의 침전 속도를 가속시켜 유체로부터 입자들을 분리시킨다[1]. 사이클론 분리기는 내부에 능동적으로 운동하는 장치가 없어 구조가 단순하고, 적은 비용으로 제작이 가능할 뿐만 아니라 유지비용이 높지않아 다양한 산업분야에서 활용되어 왔다[2]. 사이클론 분리기의 종류는 작동유체에 따라 구분되는데, 그 중에서 작동유체로 물을 사용하는 분리기를 하이드로사이클론 분리기(Hydrocyclone separator)라고 한다. 하이드로사이클론 분리기는 주로 토양, 석탄, 시멘트 슬러리(Slurry) 등과 같이 액체에 부유된 고체의 비중이 1보다 큰 고체 혼합물의 탈수를 목적으로 한다[3].

사이클론 분리기를 설계하기 위해서는 원통형실린더의 내부직경, 입구 노즐의 면적, 오버플로우(Over flow)된 유체가 사이클론을 빠져나갈 때 통과하는 볼텍스 파인더(Vortex Finder)의 직경, 원뿔형 실린더의 기울기 등을 결정해야된다.

본 연구에서는 기존에 제시된 하이드로사이클론 분리기 설

2. 본론

2.1 하이드로사이클론 분리기 설계 모델

사이클론 분리기의 분리효율이 50%가 되는 즉, 유입된 고체 입자의 50%가 침전되고 나머지는 오버플로우로 빠져나가는 입자 크기를 절단입경이라고 하는데, Arterburn[4]은 절단입경과 사이클론의 원통형 실린더 직경 D 를 식 (1)과 같이 관계지었다.

$$D_{50c} = 2.84 C_1 C_2 C_3 D^{0.66} \quad (1)$$

D_{50c} 는 오버플로우로 빠져나가는 혼합물 중 유체가 차지하는 비율에 따라 표 1과 같이 절단입경에 곱해지는 승수를 고려한 수정된 절단입경이다. C_1 은 고형물질의 농도를 반영한 보정계수로 식 (2)와 같다.

$$C_1 = \left(\frac{53 - V}{53} \right)^{-1.43} \quad (2)$$

여기서, V 는 사이클론으로 주입되는 혼합물에 대한 고형물의

부피비를 백분율로 나타낸 것이다.

C_2 는 분리기에서 발생하는 압력강하량 ΔP 의 영향을 보정한 것으로 식 (3)과 같다.

$$C_2 = 3.27 \times \Delta P^{-0.28} \quad (2)$$

C_3 는 고체 입자의 비중에 대한 영향을 보정하는 보정계수이고, 식 (4)와 같이 구한다.

$$C_3 = \left(\frac{1.65}{G_s - G_L} \right)^{0.5} \quad (3)$$

여기서, G_s 와 G_L 는 각각 고체 입자와 작동유체의 비중이다.

[표 1] $D50c$ 계산을 위해 절단입경에 곱해지는 승수

오버플로우되는 혼합물 중 유체의 비율	승수
98.8	0.54
95.0	0.73
90.0	0.91
80.0	1.25
70.0	1.67
60.0	2.08
50.0	2.78

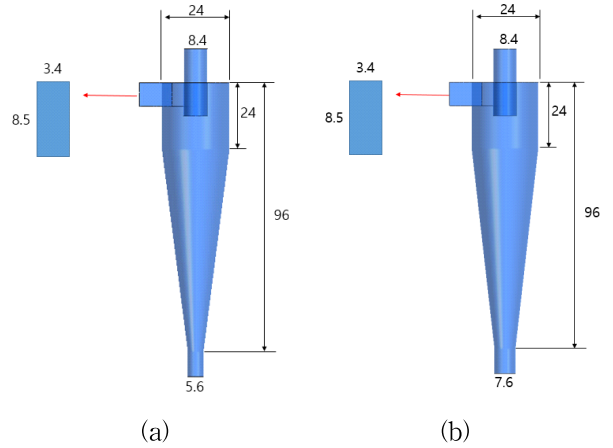
하이드로사이클론 분리기의 원통형 실린더 직경이 결정되면 나머지 설계인자는 형상비에 의해서 결정할 수 있다[4].

2.2 설계 모델 검증

비중이 2인 고체 입자가 혼합된 슬러리에서 고체 입자를 80%의 분리효율로 분리해 내기 위한 하이드로사이클론 분리기 설계를 설계 모델에서 제시한 바와 같이 설계하고, 전산해석을 통하여 검증해보았다. 사이클론 분리기로 유입되는 혼합물의 고체 입자 질량 분율을 20%, 오버플로우로 빠져나가는 혼합물의 고체 입자 질량 분율을 10%로 가정하였고, 절단입경은 50micron으로 가정하였다. 사이클론의 입,출구에서 발생하는 압력손실이 50 kPa이라고 했을 때, 2.1절에서 제시한 설계 모델을 이용하여 사이클론의 원통형 실린더 직경을 구하면 약 24cm가 된다.

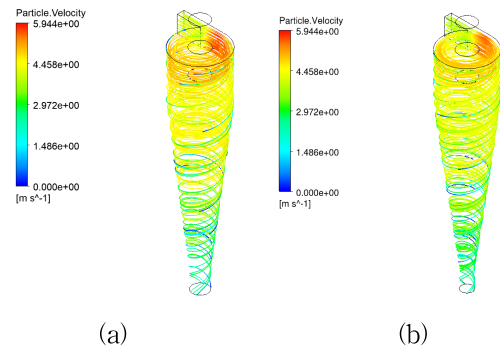
나머지 설계인자는 설계 모델에서 제시한 형상비를 이용하여 결정하였다. 혼합물이 언더플로우로 빠져나가는 Apex의 사이즈에 따라 분리효율이 영향을 받게 되는데, 설계 모델에서는 Apex 사이즈를 압력손실 50 kPa인 경우 2.2 in ~ 3 in 로 제시하고 있다. Apex 사이즈가 2.2 in인 경우와 3 in인 경우에 대해 형상을 모델링하고 해석을 통해 분리효율을 비교하였다.

그림 1에 두 가지 경우에 대한 사이클론 형상을 비교하여 나타내었다. 그림에 나타난 형상치수의 단위는 cm이다.

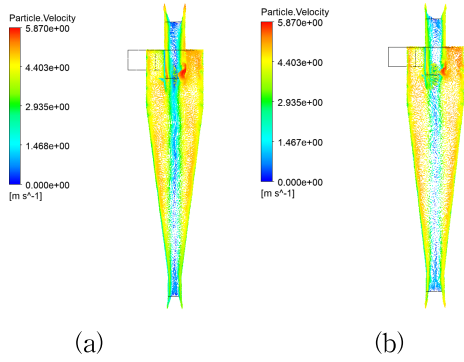


[그림 1] 하이드로사이클론 형상
(a) Apex size: 2.2 in, (b) Apex size: 3 in

그림 2~4에 두 가지 경우에 대한 유동해석 결과를 제시하였는데, Apex 사이즈를 2.2 in로 한 경우에는 고체입자의 분리효율이 64.5%로 나타났으나 3 in로 한 경우에는 77.1%로 나타났다. 따라서, Apex 사이즈를 3 in가 되도록 하이드로사이클론 분리를 설계했을 경우 설계 모델에 기반한 사이클론 분리기 설계방법이 상당히 타당하다는 것을 알 수 있다.

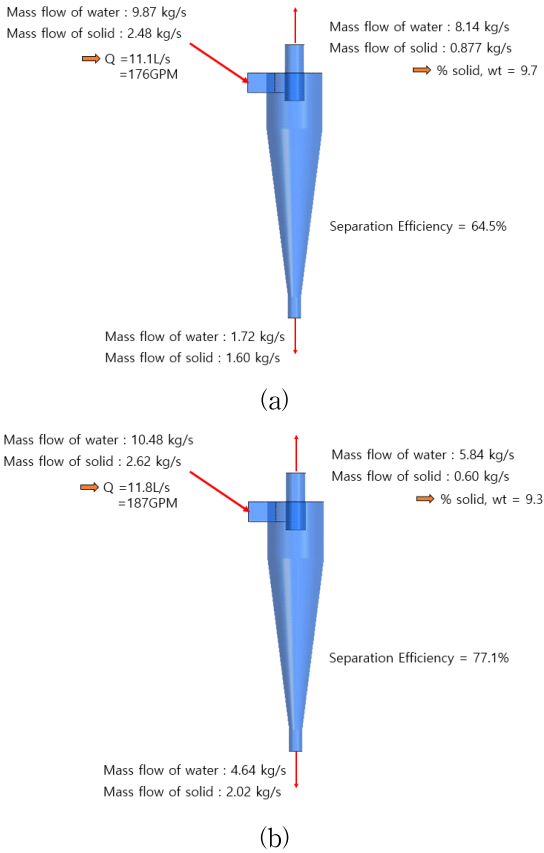


[그림 2] 하이드로사이클론 내 고체입자의 유동패턴 비교
(a) Apex size: 2.2 in, (b) Apex size: 3 in



[그림 3] 하이드로사이클론 내 고체입자의 속도분포 비교
(a) Apex size: 2.2 in, (b) Apex size: 3 in

[2] 주종일, 최영석, 이용갑, 김탁현, 김상용, “하이드로사이클론 내의 난류유동해석”, 유체기계저널, 제 6권 2호, pp. 34-40, 2003년.
[3] ITT Industries, “Slurry Handbook. A guide to slurry pumping”, FLYGT, 2013년.
[4] Arterburn RA, “The sizing and selection of hydrocyclones”, Design and Installation of Comminution Circuits, Vol. 1, pp 597-607, 1982.



[그림 4] Apex 사이즈에 따른 분리효율 비교
(a) Apex size: 2.2 in, (b) Apex size: 3 in

참고문헌

[1] 정국진, Putra RC, 김윤제, “하이드로사이클론 내벽 헬리컬 패턴 최적 설계에 따른 미세 입자 집진 효율 향상 연구”, 대한기계학회논문집 B, 제 44권 5호, pp. 331-339, 2020년.