

# 연마장비용 사이클론 집진장치 설계

진태석\*

\*동서대학교

## Development of Sweeping Machine with Cyclone Dust Collector

Taeseok Jin\*

\*Dongseo University

E-mail : jints@dongseo.ac.kr

### 요 약

본 논문에서는 선박의 외벽 청소용으로 사용되는 연마장비에 사이클론 집진방식을 채용한 연마장비를 개발을 위한 최적화된 설계를 위한 기본적인 메카니즘과 설계를 소개하고자 한다

사이클론 방식은 공기의 유입 및 유출 속도 및 압력에 따른 미립자 등을 분리하는 기능을 하게 되는데 본 연구에서는 이러한 연마장비설계를 위한 사이클론 집진기의 효율과 압력 유입 공기속도에 따른 설계방법을 소개하고 일부 실험결과를 제시하도록 한다.

### ABSTRACT

In this paper, we present the sweeping machine with cyclone type dust collector for cleaning shipment exterior wall. Important cyclone characteristics such as the collection efficiency, pressure and velocity fields have been discussed and compared with the experimental data. The purpose of this study is to introduce the mechanism design of the high efficiency sweeping machine using the cyclone dust collector. Generally, the increase of inlet velocity of air in a cyclone dust collector improves the separation efficiency, while it results in increasing in the pressure losses nonlinearly.

### 키워드

연마, 사이클론, 선박, 청소기, 집진기

## 1. 서 론

사이클론 분리기(cyclone separators)는 고속 유입공기의 원심력을 이용하여 공기중의 먼지입자나 오염물을 분리 또는 집진하는 장치로 가전도구나 미세물질 분리장치 등과 같은 다양한 산업 분야에 응용되고 있다. 특히, 사이클론 분리기는 간단한 제조기술, 적은 운용비, 그리고 극한조건에 서의 우수한 적응성 등으로 인해 중요한 오염입자 제거장치의 하나로 알려져 있다. 이러한 특성을 이용하여 청소기나 선박용 외벽 연마를 위한 연마장비 등에 적용되고 있다. 본 연구에서는 사이클론의 소용돌이(swirl)이 특성을 이용한 연마장비의 집진장치로 적용한 연마장비 개발을 소개하고자 한다.

국내 조선 산업의 발전과 더불어 조선 유지 보수를 위한 산업도 활발히 발전하고 있는 추세이다. 특히, 조선, 자동차, 항공, 건설 분야에서도 금속 표면에 도장작업 등을 효과적으로 행할 수 있도록 하기 위해서는 도장작업에 앞서 금속표면에 부착된 이물질 제거하거나 용접 부위를 매끈하게 다듬거나 부식 부위를 제거하는 표면 연마작업이 선행 되어야 한다.

조선 선박의 표면 연마작업을 수행할 때 금속 표면으로부터 탈피되는 각종 이물질과 분진을 압축공기 구동 사이클론 집진장치로 즉시 집진하고, 기존 200kg급의 대형장비의 장시간 운용에 따른 불편함을 해소하기 위해 20kg급의 이동성과 효율성을 동시에 갖춘 압축공기를 적용한 연마 장비

를 설계하는데 있다. 압축공기량을 밸브 등으로 간단히 조작하여 연마디스크의 속도조절이 가능함과 동시에 압축공기 구동만으로 집진 및 연마를 동시에 작업가능토록 경량화 장비를 설계하도록 하였다.

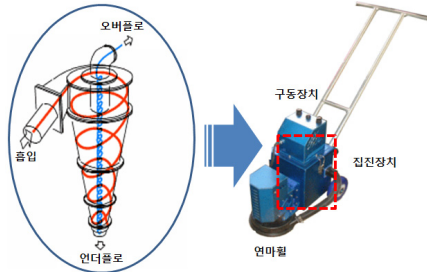


그림 1. 개발 연마장비의 기본개념도

## II. 사이클론의 구조

금속 표면 연마시 발생하는 분진을 효과적으로 집진하기 위해서 가장 우선적으로 고려되어야 할 사항이 분진의 입자크기이다. 연마 시 발생하는 분진은 입자가 크고 무거우며 농도가 높기 때문에 원심력으로 집진하는 방식이 가장 효과적이라 할 것이다.

원심력 집진장치는 분진을 함유한 공기를 원통 내에서 회전시켜, 그 원심력으로 분진(粉塵)을 외측으로 분리시켜서 집진하는 장치로 처리 용량은 대략 지름의 제곱에 비례하여 증가하는데, 지름이 커질수록 집진이 가능한 한계 입자 지름은 커진다. 그러므로 미립자까지 포집할 필요가 있으면, 소형 사이클론을 필요 수만큼 병렬로 설치한다. 이처럼 다수의 소형 사이클론을 사용하는 형식을 멀티 사이클론이라 한다.

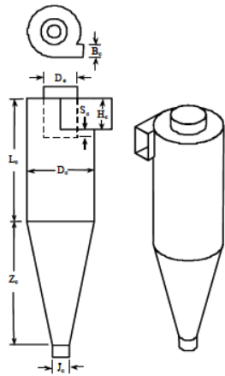


그림 2. 사이클론 분리기 기본 구조

따라서, 본 연구에서 적용하고자 하는 사이클론 집진장치는 구조가 비교적 간단하고, 설비비·유지비가 적게 들며, 관리도 수월하므로 경량의 연마장비에 장착하기 적합해야 할 것이다. 또한 분진을 포집하기 위하여 원심력식 집진장치와 병

렬로 여과식 집진장치를 설치하면 집진효율이 높고 여과포의 재질 선정에 따라 미세한 분진까지도 포집이 가능하도록 설계하도록 하였다.

## III. 집진장치 설계

연마장비 개발을 위한 사이클론 집진장치 설계를 위하여 우선적으로 층류모델을 적용 모델링과 입구유속에 따른 압력손실에 대한 결과를 제시하였다.

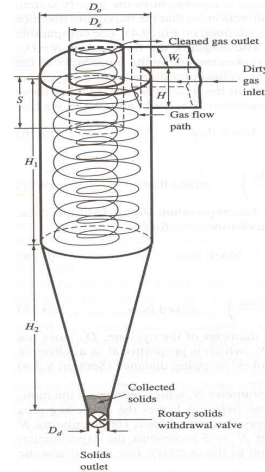


그림 3. 사이클론 모델링

$D_0$  : 총괄직경     $r$  : 반경     $H$  : 높이  
 $VC$  : 유속 반경     $V_\infty$  : 종말침강속도  
 $u$  : 점성도     $\eta$  : 집진효율  
 $W_i$  : 벽에 도달하기 위해 움직여야 하는 입자의 최대거리  
 $N$  : 내부나선에 들어가기 전 사이클론의 외부나선을 따라 회전하는 회전수

만약 물체가 길에 따라 반경  $r$ , 유속  $V_c$ 로 원운동한다면 그것은 각속도를 아래와 같이 식 (1)과 같이 정의 할 때 원심은 식 (2)과 같이 표현할 수 있다.

$$w = \frac{V_c}{r} \quad (1)$$

$$\text{원심력} = \frac{m V_c^2}{r} = m w^2 r \quad (2)$$

원심력 집진기에 의해서  $V_\infty$ (종말침강속도) stoke's 법칙 종말 속도  $V_\infty$ 에  $g$ (중력가속도)에  $V_c^2/r$ 으로 치환하고  $\rho_g$ 를 제거 하면 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$\text{종말침강속도 } V_\infty = \frac{V_c^2 d_p^2 \rho_p}{18 \mu r} \quad (3)$$

집진효율  $\eta$ 은 통상적으로 층류일 경우에 대한 효율을 식(4)로 표현할 수 있다.

$$\eta = \frac{L \cdot V_{\infty}}{HV_{avg}} \quad (4)$$

L : 흐름경로의 길이,  $V_{\infty}$  : 종말침강속도  
H : 높이,  $V_{avg}$  : 평균유속

$$\eta = \frac{LgD^2\rho_{입자}}{HV_{평균} \cdot 18\mu} \quad (5)$$

여기에 입구가스는 반경 방향으로 높이가  $W_i$ 이므로, 벽에 도달하기 위해 움직여야 하는 입자의 최대거리가  $W_i$ 가 된다. 흐름경로의 길이(L)는  $N\pi D_0$ 이며, 여기서 N은 내부나선에 들어가기 전 사이클론의 외부나선을 따라 회전하는 회전수이고,  $D_0$ 는 사이클론의 외부직경이다. 이것을 집진효율에 대입을 하면 식 (6)과 같이 표현 된다.

$$\eta = \frac{N\pi D_0 V_{\infty}}{W_i V_c} \quad (6)$$

여기에  $V_{\infty}$ 를 대입하면 식(7)로 표현된다.

$$\eta = \frac{\pi N V_c d_p^2 \rho_p}{9 W_i \mu} \quad (7)$$

#### IV. 집진효율

연마장비에 적용가능한 사이클론의 집진효율을 계산하기 위하여 다양한 연구결과에 의해 여러 가지 예측식이 제시 되었지만, 아직까지 예측식에 의한 계산값과 실험값과 차이가 있어 대부분이 실험과 경험에 의해 집진효율 성능을 추정하는 방법을 많이 적용하고 있는 실정이다.

##### 4.1 실제로 집진성능을 예측 어려움

-사이클론 내부에서 유체의 흐름에 대한 해석이 어렵다.

-기류 내에서 분진입자는 사이클론 벽면과의 마찰 또는 2차 소용돌이에 인한 난류의 형성 등에 의하여 유체내의 분진입자 운동에 대한 해석이 난해하다

예를 들어, 편도가 크고 입자크기가 큰 입자는 반발에 의해서 포집되지 않는 현상과 분진농도가 높은 조건에서는 기류내의 입자들이 사이클론 벽면과의 충돌에 의해 회전속도가 저하하여 원심력이 작아진다. 그 이유는 분진입자들이 서로 응집되는 현상과, 기류의 난류를 억제하는 효과로 인해 일어나는 현상으로 추정하고 있으나, 아직까지 확실하게 증명되지 않고 있다.

따라서, 원심력집진기의 집진효율은 처리가스 내의 분진량과 원심력집진기가 집진한 분진량의 비로 정리한다. 앞서 설명한 바와 같이 처리분진의 입경크기에 따라 집진효율이 달라지기 때문에 집진효율을 검토할 때는 입경별 집진효율(부분집진효율)을 기준으로 통상적인 효율예측을 하고 있다.

#### V. 결 론

본 논문에서는 현 진행중인 선박의 외벽 청소용 연마장비 제작을 위한 선행 연구의 일부이다. 연마장비에 사이클론 집진방식을 채용한 연마장비 설계를 위한 최적화된 설계를 위하여 층류모델을 적용 모델링 기법을 적용한 압력손실 부분을 계산하여 메카니즘과 설계에 적용하고 하였다.

사이클론 방식은 공기의 유입 및 유출 속도 및 압력에 따른 미립자 등을 분리하는 기능을 하게 되는데 본 연구에서는 이러한 연마장비설계를 위한 사이클론 집진기의 효율과 압력, 유입 공기속도에 따른 설계방안을 도입하여 최적화된 설계를 구현하고자 한다.

#### 감사의 글

2013년도 산학연협력기술개발사업(No.C0096067)의 연구수행으로 인한 결과물입니다.

#### 참고문헌

- [1] Stairmand, C.J., 1951, The design and performance of cyclone separators, Trans. Instn, Chem. Engrs., Vol. 29, pp. 356-383.
- [2] F. Kaya, I. Karagoz, 2008, "Performance analysis of numerical schemes in highly swirling turbulent flows in cyclones," Current science, Vol. 94, No. 10, pp.1273~1278.
- [3] Shuhui Xul, Minglian Zhou, and Fenghua Duanl, 2007, "Numerical simulation and structure improvement on cyclone purifier for fresh air treating," Building Simulation, pp 437~442.
- [4] T.G. Chuah, Jolius Gim bun, Thomas S.Y. Choong, 2006, "A CFD study of the effect of cone dimensions on sampling aerocyclones performance and hydrodynamics," Powder technology, Vol. 162, pp. 126~132.
- [5] F. Boysan, W.H. Ayer, J.A. Swithenbank, 1982, "Fundamental mathematical-modeling approach to cyclone design," Trans. Inst. Chem. Eng, Vol.60, No. 4, pp. 222~230.