

역음고정방식의 와이어 브러시 자동 식모기 개발 프로세스

Development Process of Wire Brush Automatic Transplanter of Plait Fixation Method

이인철*

In-Chul Lee*

〈Abstract〉

In this study, among the parts of oil vapor collectors that are already being produced, weaving wire brush automatic transplanters for oil vapor collectors for machine tools of the weaving fixing method, which are not automated due to the specificity of the process and are being produced manually, are developed and reliability is secured through performance evaluation. Oil vapor collectors play an important role in removing air pollutants and improving air quality, and the coagulation effect of the collection technology is mostly due to brushes. In the experiment, an automatic transplanter was developed to automatically manufacture and produce the wire brush of the oil vapor collector, which is manufactured and used manually. For the experiment of the developed wire brush, an experimental chamber was built, and performance and durability were evaluated through the dust collection efficiency evaluation using the electrostatic precipitator method of contaminants (oil mist). Through this study, we intend to reduce the production time and unit cost of collectors and improve the environment at industrial sites.

Keywords : Collector, Wire Brush, Automatic Planter

* 정회원, 인하공업전문대학, 원격교육지원센터, 박사
E-mail: aroma7020@inhatc.ac.kr

* Dept. of Distance Education Support Center,
INHA TECHNICAL COLLEGE

1. 서론

산업의 발달은 산업환경을 점차 고단열화, 고기밀화로 만들어 왔으며, 실내 공기환경은 이로 인하여 상대적으로 악화되어 왔다. 더욱이 작업장의 유지관리 과정에서 단순히 에너지 소비를 경감시키기 위하여 외기도입량을 차단하거나 경감시킴으로써 결과적으로 실내 공기 환경이 악화되었다. 특히 산업현장에서 복잡하고 다양한 공기조화 설비의 채택은 오히려 작업 환경 제어의 문제를 야기할 수 있어 작업장 환경에 대한 근로자들의 건강과 작업능률에 직접적인 영향을 받기에 이르렀다. 따라서 작업공간의 근로자에 대한 쾌적한 환경의 확보는 향후 산업보건 측면에서 매우 중요하게 될 것이다. 작업장 청정 기술은 생산성 향상을 위한 창조의 공간을 조성한다는 관점에서 작업을 중시한 쾌적성 확보, 에너지 절약에 의한 경제성 확보, 근로자의 인권의 건강과 일의 능률을 향상 시킬 수 있는 작업장 환경의 창출이라는 중요한 과제로 인식되고 있다.

작업장에서 근로자의 신진대사나 활동, 각종 기기나 기계 등으로부터 방출되는 열이나 이산화탄소, 먼지, 각종 휘발성 유기화합물질(VOCs)이 공기를 오염시키고, 실내 공간이나 공조시스템에서 서식하는 세균, 곰팡이와 같은 미생물들이 실내로 유입될 수 있다.

오염 물질이 실내공기 중에 정체되거나 재 비산되어 작업자에게 직업병이나 각종 질병을 유발

할 수 있다. 따라서 작업장내의 오염물질을 적절히 관리하지 않는다면 공조설비나 환기시스템이 적절하게 설계시공 되었다고 하더라도 공기환경은 악화될 수 밖에 없다.

Fig. 1은 미국 NIOSH가 446개의 건물을 대상으로 실시한 연구결과를 나타내고 있으며, 실내 공기질에 영향을 미치는 인자는 크게 환기, 실내 오염원, 실외오염원, 건축재료, 미생물, 기타 등으로 구분하고 있는데, 이 중 환기가 실내 공기질에 가장 큰 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다.

2. 기술개발의 필요성

실내 공기질을 향상시키는 방법은 크게 실내 환기량을 증가시켜 신선외기를 도입하여 실내 CO₂ 농도를 감소시키며, 실내 오염물을 외부로 방출시키는 방법과 실내 오염물질을 집진하여 제거시키는 방법이 있다. 현재 산업체에 설치되어 사용되고 있는 집진장치로는 여과집진장치, 전기 집진장치 및 싸이클론 등이 있다. 이 중 여과집진 장치는 높은 집진 효율로 인해 범용적으로 많이 사용되고 있지만, 압력손실이 다른 집진 장치에 비하여 상대적으로 크기 때문에 유지 관리비 등 경제적 비용이 많이 소요되고, 처리 유량(여과속도)의 한계로 인해 장치 규모가 큰 단점이 있다.

이 기술은 대부분 와이어 브러쉬의 유증기 응집 효과에 의한 것이고, 이 와이어 브러쉬는 집진기의 핵심부품이다. 하지만, 엮음고정방식 브러쉬의 제작은 가격이 매우 비싸고, 와이어 브러시가 수작업으로 생산되어 대량생산이 불가능하고, 균일한 품질을 유지하기가 어렵다. 따라서, 본 연구에서는 이 집진기의 핵심부품인 엮음고정방식의 와이어브러쉬를 대량생산하기 위한 자동 식모 제조기를 개발하고 개발 제품에 대한 성능을 평가하고자 한다.

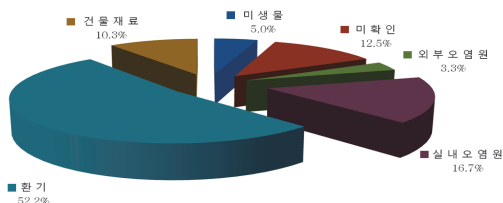


Fig. 1 Distribution of air pollutants in the workplace

3. 브러시 소재

포집기의 브러시의 소재로는 나일론(Nylon), PP, PBT 등 다양한 소재들이 사용되고 있으며, 본 연구에서는 유증기 응집효과를 극대화하기 위하여 강선과 유사하며 상온에서도 사용이 가능한 스테인리스(SUS304)소재를 채택하였다. 스테인리스의 경우 강선보다 경도는 다소 낮으나, 질긴 성질이 있고 잘 부러지지 않는다. 또한 황산, 연산, 수분에 강한 특성을 가지고 있다. Table 1은 사용된 스테인리스의 특성을 표시하였다.

Table 1. SUS304 Characteristics

Type	Ingredient	Characteristics and Uses
304	18Cr-8Ni	<p>[Characteristics] corrosion resistance, heat resistance, low temperature strength, good mechanical properties</p> <p>[Uses] wire, medical equipment, building materials, textile industry, ship parts</p>

3.1 브러쉬 제작 방식

브러쉬를 제작하는 방식으로는 브러시 몸체에 브러시의 모(毛)를 심는 형태로 제작되는 식모형 브러시는 균일한 품질과 신뢰성이 보장되고 다양한 식모(毛)패턴과 재료, 브러시의 몸체 선택이 가능하

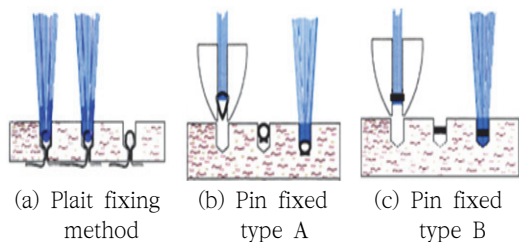


Fig. 2 How to make a brush

여, 다른 여러 방식의 브러시제작 방법에 비해 다양한 브러시 디자인의 선택이 가능하다는 이점이 있어 보편적으로 사용되는 브러시 제작 방법이다. 식모형 브러시의 제작 방법에는 역음고정방식(Fig. 2(a))와 핀 고정방식(Fig. 2(b)(c))이 있는데, 이중 핀 고정방식은 스테플을 U자형으로 성형하여 브러시 몸체의 천공된 홀의 바닥부분에 고정하는 방식(Fig. 2(b))과 일자형의 스테플을 사용하여 브러시 몸체의 천공된 홀의 옆면에 고정하는 방식(Fig. 2(c))가 있다. 본 연구에서는 역음 고정 방식(Fig. 2(a))을 채택하여 자동 식모기를 개발하였다.

4. 기본 모델 제품설계

식모형 브러시의 생산 방법 중 핀 고정 방식의 경우 브러시 모를 스테플을 이용하여 브러시 몸체에 고정하는 방법으로서 생산하기 위해서는 브러시 몸체의 두께가 어느 정도 이상이 유지되어야 한다. 그러나 유동의 원활한 움직임을 필요로 하는 제품의 경우 브러시 몸체 두께의 증가가 제품의 성능에 치명적일 수 있기 때문에 역음 고정 방법을 취하고 있다.

역음 고정 방식은 핀 고정 방식에 비해 소형으로, 더 얇게 생산 할 수 있어 산업적으로 효율성이 매우 높다. 하지만 역음 고정 방식은 공정의 특이성으로 인해 자동화되지 못하고 수작업으로 생산되고 있다. 이는 작업시간과 생산단가의 증가를 초래하여, 브러시를 사용한 제품의 소량 생산 또는 고액의 원가의 원인이 된다. 이에 따라 역음고정방식 와이어브러시의 생산을 자동화할 수 있도록 Fig. 3의 기존 수작업 와이브러쉬를 분석하여, Fig. 4와 Fig. 5처럼 프로토타입을 통해 재현성을 확보하였으며, 자동화 제작을 위한 기본 모델을 Fig. 6과 같이 제작 후 Fig. 7처럼 구조해석 및 유동해석, 진동해석을 통해 적합성을 검토하였다.

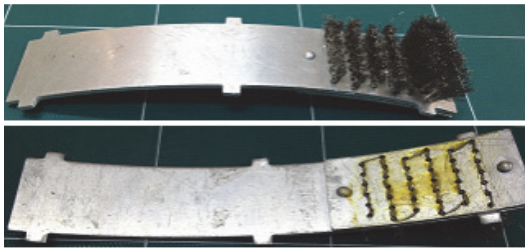


Fig. 3 Braided stationary wire brush parts(Target)



Fig. 4 Braided stationary wire brush parts(Proto type1)

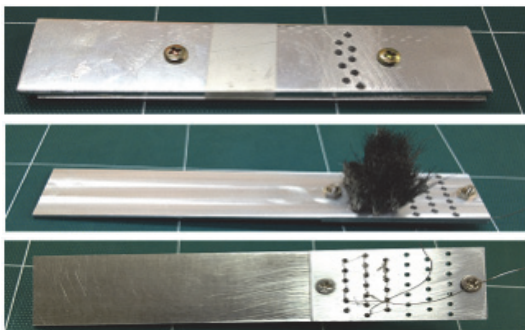


Fig. 5 Braided stationary wire brush parts(Proto type2)



Fig. 6 Braided stationary wire brush parts (Reproduction)

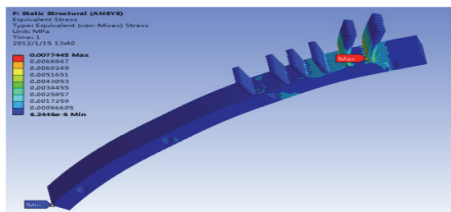


Fig. 7 Analysis result(ANSYS)

5. 와이어 브러시 자동 식모기 개발

Fig. 6의 기본모델 자동화 제작 기술을 구현하기 위해 Table 2와 같이 원심력 및 공기의 유동성을 감안하여 Fig. 8과 같이 설계를 완료하였다.

Fig. 9는 개발이 완료된 자동 식모기이며, 자동식모기에서 생산된 제품은 Fig. 10과 같다.

Table 2. Development implementation items

Category	Development content
Production Automation	· 100% manual production → realization of automatic manufacturing technology
Product Weight	· The error range of total weight is within 0.1% (considering centrifugal force)
Brush Length	· The length error of the brush is less than 0.1 mm. (Considering the tightness of air fluidity)

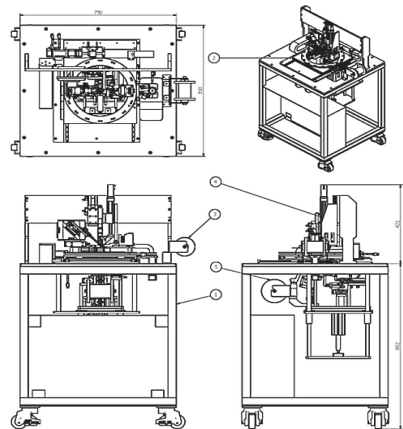


Fig. 8 Drawing of wire brush automatic transplanter

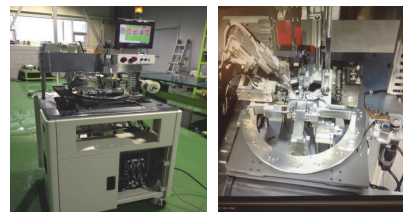


Fig. 9 Braided Stationary wire brush automatic transplanter

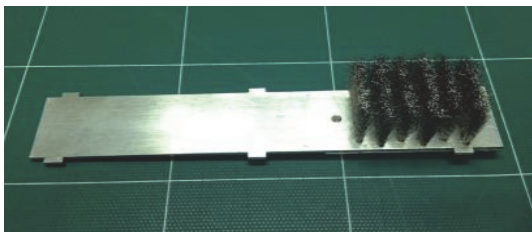


Fig. 10 Automatic transplanter production products

6. 포집 및 집진 원리

본 연구에서는 원심력 효과를 고려하여 로터리식 전기집진기를 적용했으며, 기존 실린더형 전기집진기의 고효율을 유지하면서 처리용량의 증대를 위해 가스 유·출입구를 접선으로 변형시켜 시스템 내부에 강한 선회류를 Fig. 11과 같이 유발시켜 전기력 및 원심력에 의한 집진이 동시에 이루어질 수 있도록 구성하였다.

이는 동일 규모의 일반 실린더형 전기집진기에 비해 접선유입에 의한 집진 벽면으로의 입자 이동거리의 감소와 원심력과 플라즈마 전기력 효과의 결합에 의한 입자 이동속도의 증가로 인해 보다 높은 집진 효율을 보인다.

따라서, 성능평가는 Fig. 11과 Fig. 12 원리

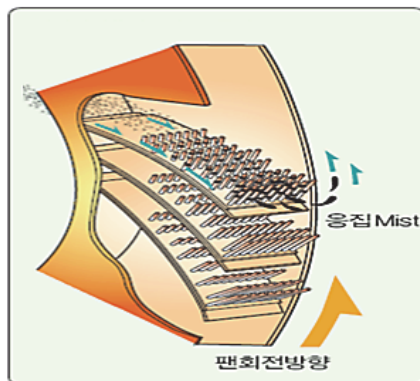


Fig. 11 Rotary oil vapor collector

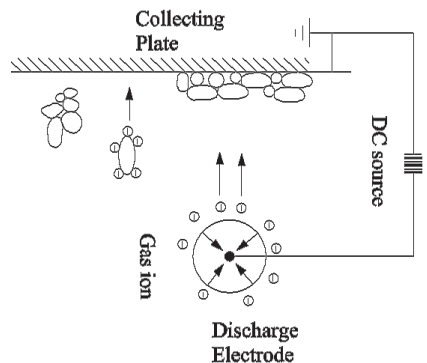


Fig. 12 Dust collection principle diagram

만의 플라즈마 전기 집진방식을 적용하여 공기 중의 다양한 입자와 냄새까지도 포집할 수 있도록 실험을 진행하였다.

6.1 성능평가

개발된 와이어 브러시 성능평가를 위해 플라즈마식 고효율식 로터리 전기집진기 실험용 챔버를 Fig. 13과 같이 구성하였으며, 챔버에 사용된 집진기 사양은 Table 3과 같다.

본 연구에서는 오일미스트 시험환경을 구성하여 성능평가를 진행하였으며, Fig. 13처럼 챔버 내의

Table 3. Laboratory dust collector specifications

Category	Specification
Air volume meter	30m ³ /min
frequency	50 / 60 Hz
FAN static pressure	1,100 Pa
rated voltage	200/220 V
FAN MOTOR rated output	1.5 Kw
FAN MOTOR rated current	7.8 A
Disc rotation motor output	40 W
Disc rotation motor rated current	0.33 A
Suction hole size	∅248mm

농도 및 풍량을 측정을 실시할 수 있도록 구성하였으며, Fig. 14~Fig. 16처럼 집진기의 흡입부 및 배출부, 풍량을 측정하여 성능을 실험 진행하였다.

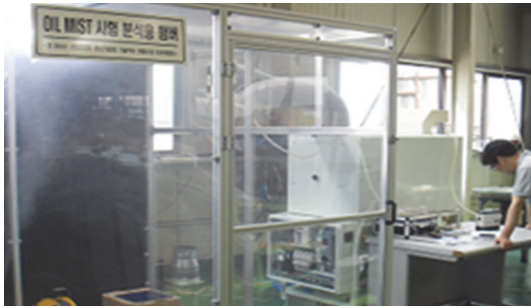


Fig. 13 test chamber

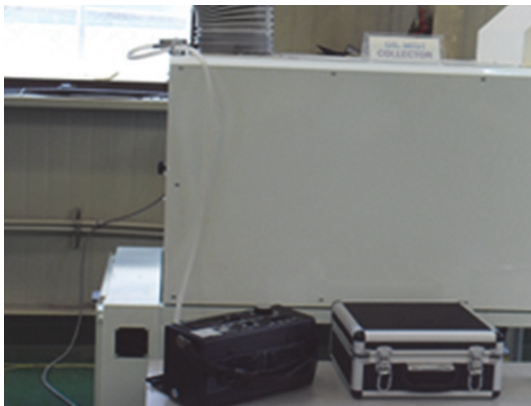


Fig. 14 Electrostatic precipitator inlet measurement



Fig. 15 Electrostatic precipitator outlet measurement

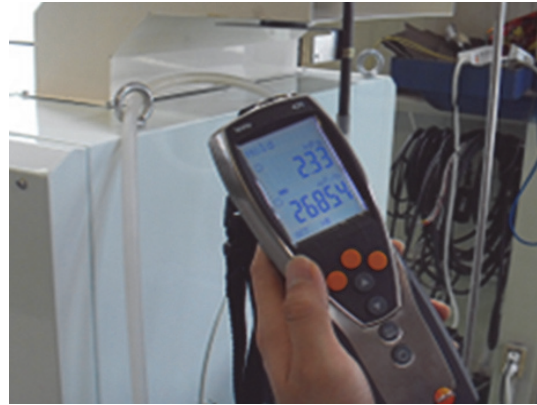


Fig. 16 Air volume measurement

6.2 성능평가 결과

Table 4와 같이 성능평가를 위한 측정환경을 구축하였으며, 데이터 수집은 5일간 Test Chamber 내에서 연속적으로 오일미스트를 강제적으로 발생시킨 후 매 시간별 1회씩 12회 측정하였다.

Table 5는 실험 후 측정결과와 평균치를 보여주고 있으며, 테스트 종료 후 매일 20분간 집진기의 집진플레이트를 세정하여 세정 전과 세정 후의 오염도를 Fig. 17처럼 육안으로 식별하였다. Fig. 18의 시간별 집진율 변화곡선에서 보는 바와 같이

Table 4. Measurement environment

Category	Measuring conditions
Measuring position	Electrostatic precipitator inlet and outlet
Measuring instrument	Piezo Balance (KANOMAX)
Air volume meter	A541
SamplingTime	24 sec
Dust type	Oil mist
Dust generation	MQL
Electrostatic precipitator capacity	30m ³ /min
Dust collector rpm	2,300 rpm

Table 5. Measurement result

Number of measurements	Inlet concentration (mg/m ³)	Outlet concentration (mg/m ³)	Dust collection efficiency (%)
	OFF	ON	ON
1	8.15	0.04	99.5
2	6.65	0.04	99.4
3	6.35	0.06	99.1
4	6.35	0.04	99.4
5	5.90	0.05	99.2
6	6.40	0.05	99.2
7	7.95	0.04	99.5
8	8.55	0.05	99.4
9	6.30	0.04	99.4
10	5.65	0.04	99.3
11	7.30	0.04	99.5
12	5.25	0.05	99.1
Avg.	6.73	0.05	99.3

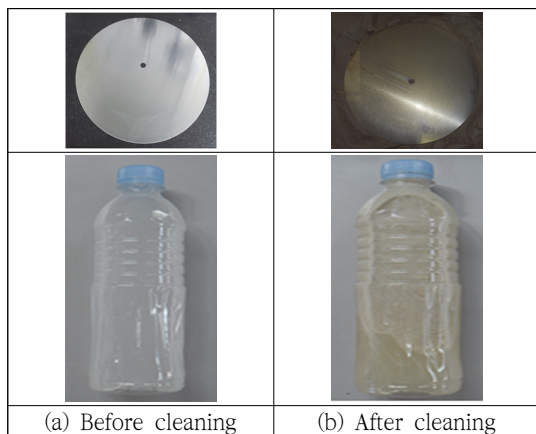


Fig. 17 Before and after cleaning the dust collector

운전 개시 후 10~11시간 경과 후 까지 전기집진기의 포집능력은 다소 차이가 발생하지만, 포착능력의 감소는 나타나지 않았으며 99% 이상의 포집능력을 나타내고 있다. 이는 개발된 자동식모기 생산된 염음고정방식 와이어브러시가 집진기 가동 후 회전형 유증기 포집의 핵심부품으로서 포집능력 99%이상 고효율 상태를 유지하고 있음을 나타내며, 대량생산을 도모할 수 있음을 나타낸다.

7. 결론

본 연구에서는 염음고정방식의 와이어 브러시 자동 식모기 개발 및 생산 제품에 대한 성능평가를 수행하였다. 개발을 위해 수작업으로 100% 생산되고 있는 와이어브러시의 기본모델을 설계 및 개발하였으며, 자동화를 위한 자동 식모기를 개발을 완료하였다. 개발된 자동 식모기를 통해 생산된 제품의 성능평가를 실험하였고 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

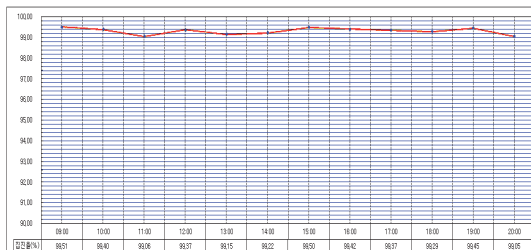


Fig. 18 Hourly dust collection rate change curve

- (1) 현재 지그 등을 사용하는 100% 수작업 생산을 자동제작기술 구현에 성공하였으며, 대량생산이 가능함을 확인하였다.
- (2) 개발된 기술이 상용화되어 보급되는 경우 생산시간 및 생산 단가를 낮추어 유증기 포집기의 활성화를 가능하게 하였다.
- (3) 성능평가 결과 산업현장의 오염물질 제거와 공기질 개선에 기여할 수 있음을 확인하였으며, 오염된 공기의 집진 및 악취 감소를 통해 청정한 공기환경을 유지할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] Lee, S., Kim, J., Choi, H., “Experimental Study on the Performance Improvement of Mist Collector”, *Journal of Environmental Science and Engineering*, Vol. 10, No. 4, pp. 251-259, 2022.
- [2] Kim, J., Jeong, H., Lee, S., “Performance Evaluation of Mist Collectors for PM2.5 Removal”, *Aerosol and Air Quality Research*, Vol. 21, No. 2, pp. e190125, 2021.
- [3] Choi, H., Kim, J., Lee, S., “Experimental Study on the Performance Evaluation of a Mist Collector for VOC Removal”, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, Vol. 108, pp. 220-226, 2022.
- [4] Cho, H., Kim, J., Lee, S., “Design and Performance Evaluation of a Wet Scrubber for Fine Dust Removal”, *Journal of Environmental Management*, Vol. 294, pp. 112944, 2021.
- [5] Park, J., Kim, J., Lee, S., “Experimental Study on the Performance Improvement of Electrostatic Precipitator for Diesel Particulate Matter Removal”, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Vol. 10, No. 6, pp. 106474, 2022.
- [6] Yoon, S., Kim, J., Lee, S., “Evaluation of Mist Collector Performance for Nanoparticle Removal in Semiconductor Manufacturing”, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, Vol. 22, No. 3, pp. 1697-1702, 2022.

(접수: 2023.05.31. 수정: 2023.06.04. 게재확정: 2023.06.12.)