

공기정화용 소형 전기집진장치의 집진효율에 관한 연구

이성화*, 엄만오**, 홍영기***, 강광옥***

A Study on Collection Efficiency of Compact and Small Size Air-Cleaning Electrostatic Precipitator

Sung-Hwa Lee*, Man-Oh Yum**, Young-Ki Hong***, Kwang-Ok Kang***

ABSTRACT

Recently, a compact and small size air-cleaning Electrostatic Precipitator(ESP) is needed to develop for air conditioning devices. From Deutsch formula for ESP efficiency, collection efficiency is affected not only the structure of collection section but also the charge rate of dust. In terms of collection area, the most useful type is a scroll type ESP. In this work, we investigated experimentally optimum design factor of scroll type ESP by application of Taguchi method. And we developed the scroll type ESP by using optimal condition of control factor.

Key Words : Electrostatic Precipitator(전기집진장치), Scroll Type ESP(스크롤형 전기집진장치), Taguchi Method(다구찌 기법), Collection Efficiency(집진 효율)

1. 서론

전기집진장치는 1908년 F.G. Cottrell에 의하여 발명된 이래, 산업의 발전과 함께 환경문제가 대두되기 시작하면서 산업분야에서 사용이 증가하고 있으며, 이에 따라 dust의 저항을 및 성분등이 집진효율에 미치는 영향에 관한 연구들이 수행되고 있다⁽¹⁻³⁾. 또한 최근에는 산업용뿐만 아니라 가정용 공조기 제품에 있어서도 공기정화 기능이 적용되어 그 사용 범위가 날로 확대되고 있는 실정이다.

이러한 환경적 요구에 대응하기 위해, 전기집진장치는 고효율을 유지하면서 두께가 얇은 박형이어야 하고, 전기집진장치의 집진면적이 작아지게 되면 집진효율이 감소하게 되어⁽⁴⁾, 종래 많이 사용된 평판형보다 집진면적이 크고 집진효율이 우수한 스크롤형이 개발되고 있다⁽⁵⁾. 스크롤형 전기집진장치에 관한 연구는 많이 수행되어 왔으나⁽⁶⁻⁸⁾, 소형화 및 박형화에 관한 연구는 거의 없다. 실제 소형 전기집진장치의 설계시 이론적 배경뿐만 아니라 많은 경험과 실험을 통한 시행착오가 필요하다고 사료된다.

* 경남대학교 대학원
** 경남대학교 기계공학과
*** (주) LG 전자

Fig.2는 입자 발생부(Particle Generator Part), 전기집진장치(ESP), 입자 샘플링부 (Particle Sampling Part) 및 블로어(Blower)로 구성된다.

입자 발생부에서 입자발생기(Particle Generator)는 ROYCO사의 모델 256을 사용하였고 입자 샘플링부에서 입자측정기(Particle Counter)는 PMS사의 모델 101을 사용하였다. 또한 전기집진장치의 구조는 Fig.3과 같다.

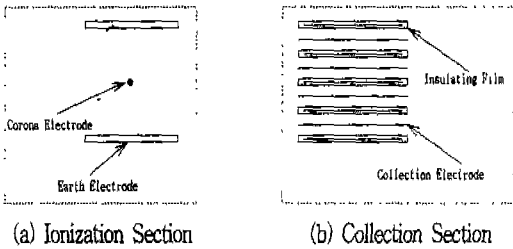


Fig.3 Cross Section of Experimental ESP

Fig.3은 전리부(Ionization Section)와 집진부(Collection Section)로 구성된다.

전리부는 고전압이 인가되는 텅스텐 재질의 방전극(Corona Electrode)과 일정 방전 공간을 유지하기 위해 평판형의 알루미늄 재질의 방전대응극(Earth Electrode)으로 구성되고, 집진부는 두께 100 μm의 알루미늄 판에 두께 100 μm의 폴리에틸렌테레프탈레이트(Polyethylenterephthalate) 필름으로 코팅한 집진대응극(Insulating Film)과 전극간 간격유지를 위해 자바라 구조로 된 두께 200 μm의 알루미늄 판의 집진극(Collection Electrode)으로 구성된다.

3.2 실험 방법

전기집진장치를 풍동에 장착하고 풍동 후단의 블로어로 입자발생부에서 발생되는 입자를 전기집진장치로 통과하게 한다. 이 경우 전기집진장치의 통과 풍속을 블로어앞에 장착된 노즐과 마이크로메타를 이용하여 제어한다.

입자는 입자발생기에서 Latex 0.502 μm의 입자 발생용액을 사용하여 단분산분포의 입경으로 발생되며, 입자수는 전기집진장치의 입.출력측에 장착된 입자측정기로 측정된다.

집진효율은 ESP의 입.출력측에서 1분간의 샘플링을

10회하여 그 평균값을 식(3)에 대입하여 구하였다⁽¹⁸⁾.

$$\eta = 1 - \frac{c_o}{c_i} \quad (3)$$

여기서, η 는 집진효율, c_i 는 입력측 입자수, c_o 는 출력측 입자수이다.

3.3 실험인자 설정

최적 설계를 위한 제어인자는 전리부의 방전극과 방전대응극간의 거리, 전리부 인가전압, 포집부 인가전압, 통과풍속, 집진극의 폭 및 방전극의 직경으로 정하였으며 그 수준은 Table 1과 같다.

Table 1. Control Factors and Levels

제어인자	수준1	수준2	수준3	비고
A	소	중	-	전리부방전극과 방전대응극과의 거리(mm)
B	소	중	대	전리부 인가전압(kV)
C	소	중	대	포집부 인가전압(kV)
D	소	중	대	통과풍속(%)
E	소	중	대	집진부 폭(mm)
F	소	중	대	방전극 직경(μm)

Table 1에서 인자 구성은 2 수준 1개, 3 수준 5개로 하고 오차인자에 의한 영향은 무시하였다.

인자들의 평가는 인자간 교호작용이 최소인 직교배열표 L18에 따라 배치하여 실험 회수를 18회로 하고, 전기집진장치는 입자를 집진하는 것이므로 평가특성치는 집진효율로 하였다. 또한 이 적용계의 품질특성은 유입되는 입자를 많이 집진하여 측정 입자수가 적을수록 바람직한 시스템이므로 평가 종류를 정특성의 망소특성으로하여 다구찌 기법의 SN比 산출식인 식 (4)로 실험결과를 분석하였다⁽⁹⁾.

$$SN = -10 \log (1 - y_i)^2 \quad (4)$$

여기서, SN 은 SN比, y_i 는 식 (3)에서 구한 η 값을 나타낸다.

SN比는 신호 인자와 실험시 발생하는 잡음 인자와의 비율로 최적설계를 위한 평가 기준으로 고려되며 크면 클수록 좋은데 이는 측정값의 산포가 안정되기 때문이다.

4. 실험결과 및 고찰

Table 1을 이용하여 L18 직교배열표의 인자별 수준을 설정하고 Fig.2의 장치에서 전기집진장치의 입,출력 측에서 입자수를 측정하여 식 (3)에 대입하여 집진효율(η)을 구한다. 그 결과는 Table 2와 같다.

Table 2. Collection Efficiency by L18 Orthogonal Array

No.	인자별 수준								효율(%)
	A	B	C	D	E	F	e	e	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	55.4
2	1	1	2	2	2	2	2	2	38.2
3	1	1	3	3	3	3	3	3	69.9
4	1	2	1	1	2	2	3	3	71.6
5	1	2	2	2	3	3	1	1	65.7
6	1	2	3	3	1	1	2	2	68.0
7	1	3	1	2	1	3	2	3	57.7
8	1	3	2	3	2	1	3	1	74.7
9	1	3	3	1	3	2	1	2	90.0
10	2	1	1	3	3	2	2	1	43.6
11	2	1	2	1	1	3	3	2	69.4
12	2	1	3	2	2	1	1	3	38.6
13	2	2	1	2	3	1	3	2	62.9
14	2	2	2	3	1	2	1	3	34.1
15	2	2	3	1	2	3	2	1	61.3
16	2	3	1	3	2	3	1	2	32.4
17	2	3	2	1	3	1	2	3	50.8
18	2	3	3	2	1	2	3	1	73.4

Table 2에서 실험 No. 9의 조건에서 집진효율이 90.0 %로 가장 높게 나타났는데 이는 방전극간 간격은 좁을수록, 인가되는 전압은 높을수록, 풍속은 작을수록, 집진 면적은 넓을수록 효율이 높다는 식 (1)의 결과와도 잘 일치하는 것을 알 수 있다.

Table 2를 식 (4)에 대입하여 SN比를 구하고 이 값을 이용하여 제어인자 및 수준별 요인효과와 기여율을 구한 결과는 Table 3과 같다.

Table 3에서 SN比는 각 실험조건에서의 집진효율을 측정값으로 하고 식 (4)를 이용하여 각 조건별 SN比를 구한 후 이 결과에서 제어인자의 수준별 SN比를 구하고 각 제어인자들의 평가특성치에의 기여율을 계산하여 산출하였다. 또한 감도 S는 각 실험조건에서의 집진효율의 측정값 자체로 하고 제어인자의 수준별 감도 S를 구하였다.

Table 3에서 평가특성치에의 기여율을 구한 결과, 집진효율에 대한 기여율은 포집부 인가전압이 18.4%로 가장 높고 전리부의 방전극과 방전대응극과의 간격, 통과풍속, 전리부 인가전압 순서로 포집부 인가전압이 전리부 인가전압보다 집진효율 향상에 크게 기여하는 것으로 나

Table 3. SN, S Value and Contribution Ratio

	SN比(dB)	S	Max-Min(dB)	기여율(%)
A1	10.2	0.342	3.6	16.1
A2	6.6	0.433		
B1	6.9	0.475	3.2	14.3
B2	8.1	0.409		
B3	10.1	0.368		
C1	6.7	0.479	4.1	18.4
C2	7.8	0.445		
C3	10.8	0.330		
D1	10.4	0.336	3.2	14.3
D2	7.2	0.456		
D3	7.4	0.461		
E1	8.4	0.402	2.4	10.8
E2	7.2	0.473		
E3	9.6	0.379		
F1	7.7	0.431	1.5	6.7
F2	9.2	0.415		
F3	8.2	0.406		
e1	8.4	0.402	2.4	10.8
e2	7.2	0.472		
e3	9.6	0.379		
e1	8.8	0.402	1.9	8.5
e2	9.1	0.472		
e3	7.2	0.379		
			22.3	100

타나 식 (1)의 계산 결과와 잘 일치함을 알 수 있다.

Table 3을 이용하여 전기집진장치의 최적 설계 인자 및 수준을 산출하기 위하여 SN比 및 감도 S의 요인효과 그래프를 나타낸 결과는 Fig.4와 같다.

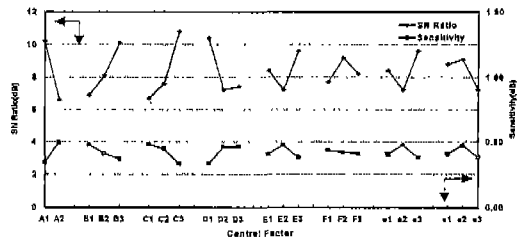


Fig.4 SN比, S Value for Control Factors

Fig.4에서 최적조건은 제어인자의 수준별 SN比가 가장 높은 조건인 A1/B3/C3/D1/E3/F2 인데 여기서 알파벳은 제어인자이고 알파벳 다음의 숫자는 제어인자의 수준을 나타내며, 특히 밑줄 친 부분은 제어인자의 수준에서 기울기가 커 집진효율에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있어 추정치 계산에서 유의인자로 취급하였다.

Fig.4의 최적 조건을 이용하여 확인실험 후 그 이득을 계산하여 다구찌 기법의 신뢰성을 검증하기 위해서 최적 조건 및 기준 조건에서의 추정치 산출 및 확인실험을 하였으며, 그 결과는 Table 4와 같다.

Table 4. Comparison with Taguchi Method's and Experimental Data

수준별 조건	추정		확인실험	
	SN比	S	SN比	S
최적조건 : A1/B3/C3/D1/E3/F2	16.42	0.122	17.393	0.135
기준조건 : A1/B2/C2/D2/E1/F2	8.02	0.398	9.782	0.289
이득 : 최적조건-기준조건	8.4	-0.276	7.611	-0.154

Table 4에서 추정치 산출시 최적 조건의 경우 유의인자인 A1/B3/C3/D1으로 SN比를 계산하며 감도 S는 집진효율 측정값으로 하였고, 기준 조건은 통상 제어인자 수준의 중간값으로 선정하여 추정하며 감도 S는 최적 조건과 동일하게 집진효율 측정값으로 하였다. 또한 확인실험의 경우는 제어인자의 수준을 동일 조건으로 적용하여 Fig.3의 실험 장치로 집진효율을 측정, 식 (4)로 계산하여 구하고, 감도 S는 집진효율 측정값으로 하였다.

Table 4에서 최적조건에서의 확인실험시 SN比가 17.393, 추정치가 16.42이며 기준조건에서의 확인실험시 SN比가 9.782, 추정치가 8.02로 이득 (Gain)은 최적조건에서의 SN比에서 기준조건의 SN比를 뺀 값으로 확인실험시 7.611, 추정치 8.4 로서 확인실험시의 이득이 기준 조건에서의 이득의 9.4 % 오차로 나타났다.

다구찌 기법에서 이득 오차 범위가 ±20 % 범위에 포함되면 다구찌 기법을 적용한 실험 결과는 신뢰성이 있다고 인정되기에⁽⁹⁾ 본 연구에서 구한 최적 조건은 실험의 재현성 및 신뢰성이 충분하다고 사료된다.

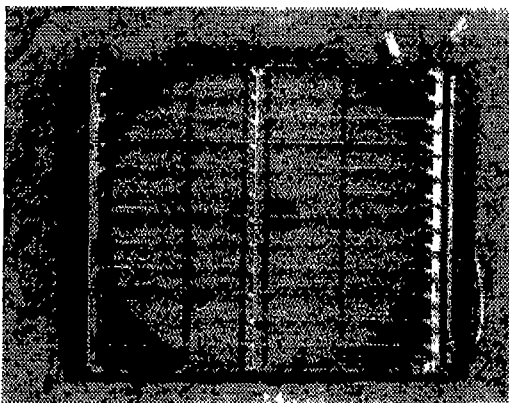


Fig.5 Photograph of Electrostatic Precipitator Designed

이상의 결과에서 얻어진 각 인자들의 최적 조건을 적용하여 전기집진장치를 설계, 제작하였으며 그 제품은 Fig.5와 같다. 또한 이 제품을 이용하여 집진효율을 측정하였으며 그 결과는 Fig.6과 같다.

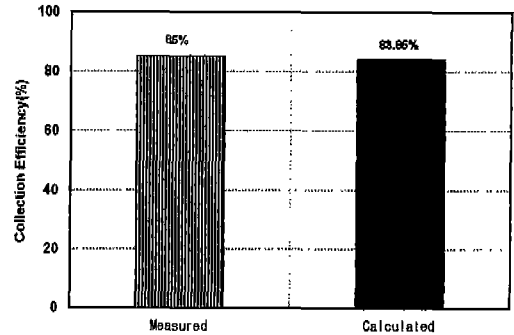


Fig. 6 Characteristics of Colection Efficiency due to Applied Voltage

Fig.6에서 최적 조건과 동일 수준에서 집진효율이 85%로 식(1)에 의한 집진효율 83.85%와 비교하여 잘 일치함을 알 수 있고, 아울러 본 제품의 신뢰성을 확인하였다. 따라서, 고효율의 공기정화용 소형, 박형의 전기집진장치를 공조기 제품에 상용화 가능한 것으로 사료된다.

5. 결 론

공기정화용 소형 전기집진장치 개발을 위해 다구찌 기법을 적용하여 제어인자가 집진효율에 미치는 영향 및 적용 기법의 신뢰성에 관하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 소형, 박형의 전기집진장치의 개발에서 제어인자 중, 포집부 인가전압, 전리부의 방전극간 간격, 통과풍속, 전리부 인가전압의 순으로 기여율이 높았고, 따라서 전리부 인가전압을 높이는 것보다 포집부 인가전압을 높이는 것이 유리하였다.

(2) 제어인자의 수준별 요인효과 분석 및 확인실험 결과 이득 오차가 신뢰성 허용오차 범위내에 있어 실험의 재현성과 적용 기법의 신뢰성을 확인할 수 있었다.

(3) 각 인자들의 최적 조건을 적용하여 고효율의 공기정화용 소형, 박형의 전기집진장치를 개발하였다.

참 고 문 헌

1. Harry J. White, "Resistivity Problems in Electrostatic Precipitation," J. of AirPollution Control Association, Vol.24 No. 4, pp. 314-338, 1974.
2. 増田閃一, "電氣集じん器における逆電離現象," 日本電氣學會誌, Vol.80 No. 865, pp. 1482-1489, 1960.
3. P. Cooperman, "A New Theory of Precipitator Efficiency," Atmospheric Environment, Vol.5, pp. 541-551, 1971.
4. Sabert Oglesby et al., "Electrostatic Precipitation," Marcel Dekker, pp. 15-55, 1993.
5. 足立宣良 外, "スクロール型 電氣集塵装置の性能實驗," 靜電氣學會講演論文誌, 1989.
6. 足立宣良 外, "空調用 電氣集塵装置の集塵性能," 靜電氣學會講演論文誌, 1990.
7. Seiji Kanazawa et al, "Contamination of the Discharge Electrode in an Air-Cleaning Electrostatic Precipitator," IEEE/IAS, pp. 1870-1874, 1993.
8. Judy A. Dorsey, Jane H. Davison, "Ozone Production in Electrostatic Air Cleaner with Contaminated Electrdes," IEEE Trans. Ind. Appl., Vol.30 No. 2, pp. 371-376, 1994.
9. LG전자 Learning Center-96002, "다구찌 품질공학," pp. 17-147, 1996.
10. 靜電氣ハンドブック, 靜電氣學會編, オーム社 pp. 272, 1981.
11. 藤村謙祐, 足立宣良, "電氣集塵装置の 集塵率計算法," 靜電氣學會誌, Vol.15 No. 1, pp. 27, 1991.
12. 淺野和俊, "靜電界計算の 實際," 靜電氣學會誌, Vol.14 No. 2, pp. 168, 1990.
13. 이성화 외, "전기식 소형 공기청정기의 집진필터 특성에 관한 연구." 서부 경남지부 대한전기학회, 1991.