

전기집진기의 직렬 및 병렬식 배열에 따른 효율적인 진동 탈진에 대한 연구

최지현¹, 김진호^{1*}

¹영남대학교 기계공학과

Research for Effective Vibrational Rapping Performance of Multiple Electrostatic Precipitators in Series and Parallel Arrangements

Ji-Hyun Choi¹ and Jin-Ho Kim^{1*}

¹Division of Mechanical Engineering, Yeungnam University

요 약 전자기 진동 가진기를 적용한 전기 집진기의 효과적인 탈진 여부를 판단할 수 있는 기준은 집진기내 집진판들의 진동 가속도이다. 이러한 진동 가속도는 외부로부터의 가진 주파수와 시스템의 고유주파수의 일치로 인하여 공진이 일어날 때 간헐적으로 최대치를 보이며 효율적인 탈진성능을 기대할 수 있다. 본 연구에서는 한대의 전자기 진동 가진기를 이용하는 단일 객체를 대상으로 한 관점에서 더 나아가, 실제 현장에서 복수의 전기집진탈진기가 설치됨을 고려하여 진동 탈진기의 설치방식에 따라 시스템을 모델링 하였다. 이러한 직렬 및 병렬회로로 연결된 가진기를 적용한 시스템을 대상으로 진동 가속도 계측 실험을 수행하여 직렬 및 병렬식 연결에 따른 진동 가속도의 차이를 비교함으로써 가진기의 배열 방식과 그에 따른 기대 탈진 성능 및 소비전력의 유효성을 검증하였다. 최종적으로 직렬 배열형 모듈이 증가할수록 선형적으로 필요전류량이 증가할 것으로 예상하였으나 급격한 감소나 (6.9% ~ 37.6%) 증가를 (5% ~ 45%) 보여주었다. 단독의 가진기가 사용된 병렬 배열보다, 2대의 가진기가 사용되고 그 전기회로의 연결이 병렬일 때 동일한 전류가 인가되었음에도 약 11.64%의 가속도 감소 현상을 보였다. 2대의 가진기를 사용하고 입력전류의 값을 소비 전력의 관점에서 동일하게 보정하였을 경우 약 16.80%의 가속도 증가 현상을 확인하였다.

Abstract One of the most significant requisite that should be considered for effective rapping of the electrostatic precipitator using electromagnetic vibration exciter is vibration acceleration and resonance frequency of collecting plates. This vibration acceleration shows its peak points when natural frequencies of the system are corresponded with excitation frequency from the power source, and effective rapping performance can be expected. In this research, extend view of single electrostatic precipitator using one electromagnetic vibration exciter, the system was remodeled by arrangement of the exciters in view of multiple modules of the electrostatic precipitator in fields. And vibration acceleration measurement experiment is performed and measured values are compared with these remodeled systems. By this experimental comparison in series and parallel arrangement, effectiveness of arrangement methods for the electromagnetic vibration exciter, expected rapping performance, and power consumption are verified.

Key Words : Electromagnetic Vibration Exciter, Natural Frequency, Series and Parallel Arrangements, Vibration Acceleration

본 논문은 국토해양부 미래도시철도기술개발 사업의 연구비 지원(09 미래도시철도 A-01)으로 수행되었음.

*Corresponding Author : Jin-Ho Kim(Yeungnam Univ.)

Tel: +82-53-810-2441 email: jinho@ynu.ac.kr

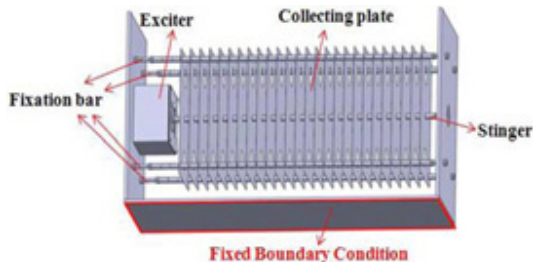
Received June 12, 2013

Revised July 17, 2013

Accepted September 6, 2013

1. 서론

전자기 액츄에이터를 이용한 전기집진기의 진동탈진은 해머 등을 이용한 충격에너지를 이용한 탈진과는 달리 가진주파수와 집진기 자체 시스템의 주파수를 일치시켜 공진현상을 발생시켜 탈진 효율을 극대화 한다. 또한, 이렇게 일치된 양측의 진동 주파수로 인한 결과인 향상된 탈진은 가속도의 크기를 기준으로 그 성능을 가늠한다[1]. 그림 1은 이전 연구에서 다루어진 단일 가진기를 적용한 전기집진탈진기의 개략도이다. 임의의 입력전류가 진동가진기에 인가되면 로렌츠 힘에 의해 가진기의 반복운동이 시작되며 가진기의 평면형 판 스프링과 집진판들을 연결하는 스텐어 축이 함께 운동하며 집진판들을 진동시키게 된다. 앞서 설명한 바와 같이, 이때 입력되는 전류의 가진주파수와 집진판을 포함한 시스템의 고유주파수가 일치 될 때 집진판의 진동 가속도가 극대화 되며 좀 더 향상된 탈진 성능을 발휘하게 된다. 집진기 및 진동 탈진기가 설치 될 각종 실제 현장에서는 설치공간의 다양성과 여러 제약조건으로 인해 집진기 및 이와 함께 설치될 진동 가진기의 모듈 수와 배열방법, 그리고 그 동력제공원인 전력공급장치의 설치 제한의 문제를 고려해야 한다. 따라서, 전기집진기 다중 모듈의 연결 방식에 따라 진동탈진기의 설치, 가속도 변화 및 소비전력 등 다양한 조사 및 분석이 필요하다. 본 논문에서는 병렬회로로 연결된 가진기를 적용한 시스템을 대상으로 진동 가속도 계측 실험을 수행하여 병렬식 연결에 따른 진동 가속도의 차이를 비교함으로써 가진기의 배열 방식과 그에 따른 기대 탈진 성능 및 소비전력의 유효성을 검증하였다. 2장에서 복수 모듈의 전기집진기 및 진동탈진기 시스템을 각각 직렬 및 병렬 배열 형태로 모델링하고, 이에 대한 진동 모드 유한요소해석을 수행하여 고유진동수를 파악한다. 3장에서는 각각의 배열 및 연결방식에 대한 가속도 측정 실험을 수행한다.

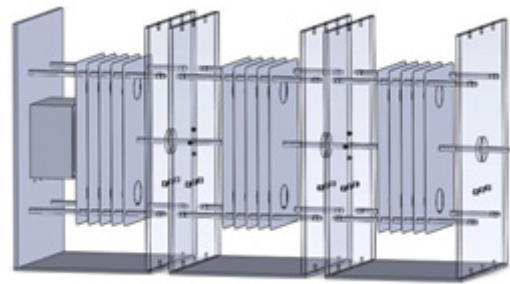


[Fig. 1] An Electromagnetic vibration exciter applied electrostatic precipitator

2. 복수 배열 전기집진기 시스템

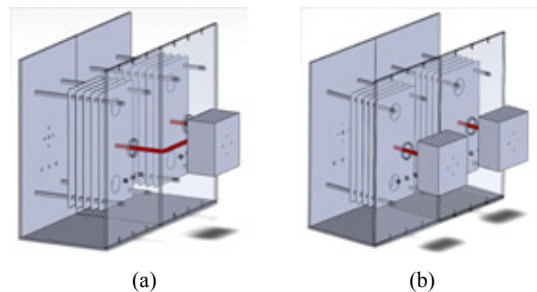
2.1 직렬 및 병렬 배열 전기집진기 시스템

본 연구에서는 현장에서 복수의 전기집진기가 직렬로 설치됨을 고려하여 전기 집진기 시스템을 다음과 같이 모델링하였다. 첫 번째로 고려될 시스템은 직렬 연결된 집진기 모듈이다. 스텐어로 한 개, 두 개, 또는 세 개의 집진기 모듈 직렬 연결되어 하나의 진동탈진기가 집진기에 쌓인 먼지를 탈진할 수 있다[2]. 그림 2는 하나의 탈진기에 스텐어로 세 개의 집진기 모듈에 직렬 연결된 시스템을 보여준다.



[Fig. 2] Series arranged electrostatic precipitators

두 번째로 고려될 시스템은 병렬 연결된 시스템이다. 그림 3(a)는 하나의 진동탈진기가 스텐어로 두개의 병렬 연결된 집진기를 탈진하는 시스템을 보여주고, 그림 3(b)는 병렬 연결된 탈진기에 각각의 진동탈진기가 설치된 두 가지 시스템을 보여준다.



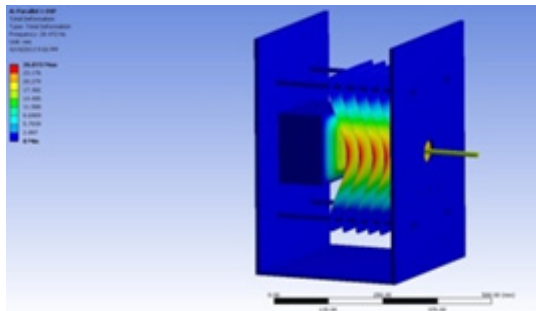
[Fig. 3] Parallel arranged electrostatic precipitators
(a) Using 1 electromagnetic vibration exciter
(b) Using 2 electromagnetic vibration exciters

2.2 진동 모드 유한요소해석

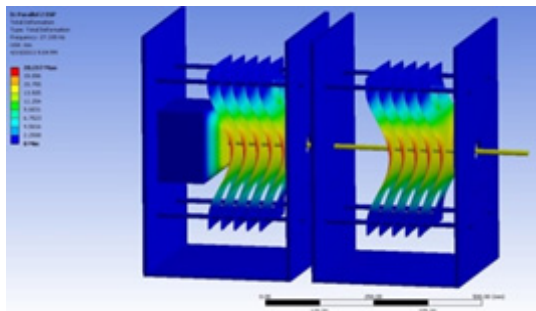
직렬 및 병렬 연결된 전기 집진탈진기 시스템의 고유진동수를 구하기 위하여 진동 모드 유한요소해석을 수행하였다. 그림 4(a), (b), (c)는 1대의 가진기와 스텐어로 집

진기 1기, 2기 그리고 3기가 직렬 연결된 시스템의 모드 해석 결과를 보여준다. 표 1은 1기, 2기 그리고 3기의 1차, 2차, 3차 진동모드의 주파수 결과를 나타낸다.

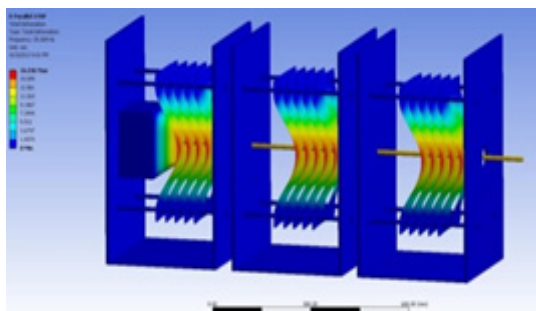
집진기 시스템의 케이스 아랫면과 양 측 및 집진판 각 모서리의 고정바 4개는 완전 고정되어 있으며, 가진기의 동적 부품에 해당하는 판스프링과 집진판은 구동축의 방향으로 진동한다.



(a)



(b)



(c)

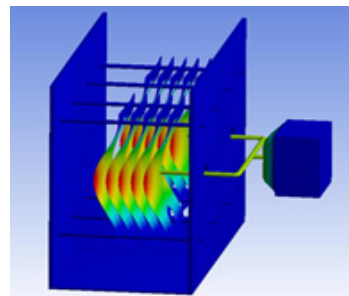
[Fig. 4] Vibration modes of electrostatic precipitators

- (a) Single electrostatic precipitator
- (b) Double electrostatic precipitators
- (c) Triple electrostatic precipitators

[Table 1] Natural frequencies along the number of modules

1EA		2EA		3EA	
Mode	Frequency (Hz)	Mode	Frequency (Hz)	Mode	Frequency (Hz)
1	28.472	1	27.335	1	25.689
2	38.477	2	38.804	2	38.730
3	41.875	3	42.290	3	42.26

그림 5와 표 2는 병렬 연결된 2대의 전기집진기에 대한 진동 모드 해석 결과이다.



[Fig. 5] Vibration mode of parallel arranged electrostatic precipitators

[Table 2] Natural frequencies of parallel arranged electrostatic precipitators

2EA	
Mode	Frequency (Hz)
1	30.088
2	40.766
3	44.020

3. 가속도 측정 실험

3.1 실험 방법

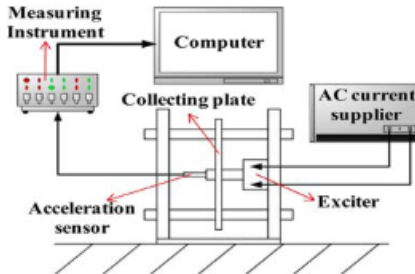
본 논문의 관심 대상인 가속도를 계측 지표로 하여 2장에서 제시한 병렬 회로의 구성을 따르는 가진기를 전기집진탈진기에 설치한 뒤 일정한 전류를 인가하여 진동 가속도에 대한 집진판의 거동을 비교하였다. 그림 6과 같이 집진판의 면적을 일정한 간격으로 9개의 구역으로 나누고 그 중, 가장 직접적인 외부 가진을 받는 스텐어의 위치에 가속도 센서를 부착하여 계측을 수행하였다.



[Fig. 6] Measuring points on the collecting plate

3.2 계측 장비 및 실험 설정 개요도

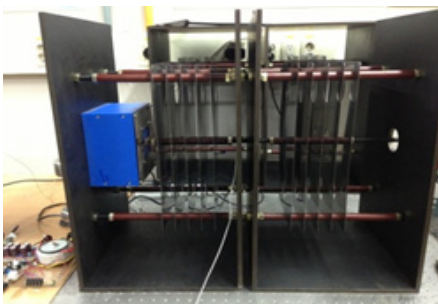
가속도 측정 실험을 위한 장비의 개요도는 그림 7과 같다. 계측 대상인 집진판에 가속도 센서가 부착되고 얻어진 신호는 측정 데이터 수집용 DAQ를 통해 측정 신호 분석용 컴퓨터로 입력되어 Labview 프로그램을 활용하여 도시적, 수치적 가속도 정보를 취하게 된다.



[Fig. 7] Apparatuses for vibration measurement

3.3 집진기 직렬 연결 실험

입력주파수를 공진주파수로 설정하고 입력전류(1.0 A)의 조건하에서 직렬 연결되는 전기집진기의 모듈 수가 증가 할 때의 진동가속도 감소량을 측정하였으며, 1대의 전기집진기 가동시의 가속도 기준값 (약 73.9 m/s²)달성을 위해 2대, 3대의 전기집진기 연결에 필요한 입력전류의 증가량을 측정하였다[3]. 그림 8과 같은 방식으로 직렬 연결된 전기집진기의 집진판에서의 각 진동가속도와 필요입력전류의 증감 경향은 표 3과 같다.



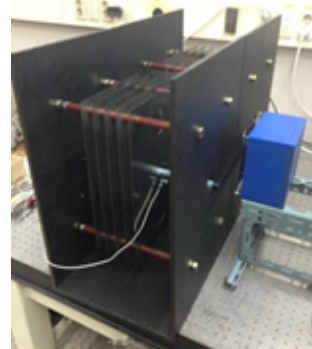
[Fig. 8] Series arranged prototype of electrostatic precipitators

[Table 3] Vibration acceleration of the collecting plates in series connected electrostatic precipitators

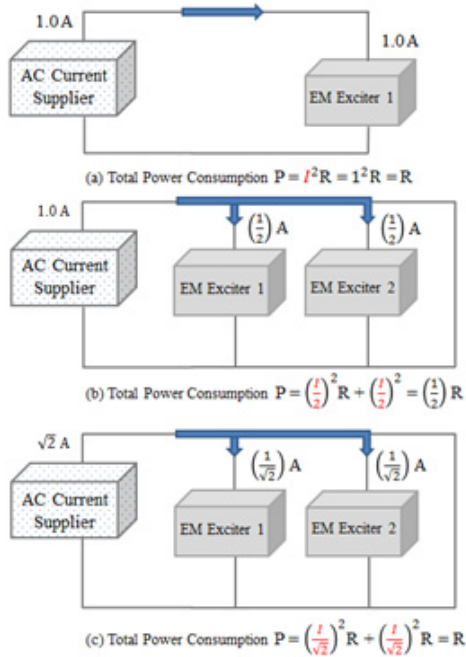
Modules	Vibration Acceleration (at 1.0 A, 45 Hz)	Acceleration Decrement
1	73.9 (m/s ²)	-
2	68.8 (m/s ²)	6.90 %
3	46.1 (m/s ²)	37.6 %
	Required Current for Reference Acceleration (73.9 m/s ²)	Increment of Required Current (Compared to 1 module))
1	-	-
2	1.05 A	5%
3	1.45 A	45%

3.4 집진기 병렬 연결 실험

이전 실험의 대상이었던 직렬 배열된 전기집진기에서 가진기는 단순히 스팅어의 길이방향 상에 1대가 위치하여 입력전류의 조절을 통해 집진판의 가속도를 좌우하였다. 하지만 앞서 언급한 설치장소에 대한 제한 조건이나 가진기의 설치대수 증가 및 소비전력을 고려하여, 그림 9와 같은 직렬이 아닌 병렬식 연결의 복수 전기집진기를 새로운 실험의 대상으로서, 1대 또는 2대의 가진기를 설치하여 이에 따르는 가속도의 변화를 측정하였다. 이때 2대의 가진기 사용시 이 가진기들은 전기집진기와는 별개로 병렬식 전기적 회로연결이 가능하다. 표 4는 1대의 가진기를 구동원으로 하여 1.0 A, 45 Hz의 입력전류를 인가한 경우, 그리고 병렬회로 연결된 2대의 가진기를 사용했을 때, 마지막으로 병렬회로 연결을 하되, 가진기의 소비전력을 이전의 연결법과 동일하도록 입력전류를 조정하였을 때의 가속도 값을 보여준다[4].



[Fig. 9] Parallel arranged prototype of electrostatic precipitators



[Fig. 10] Circuits of parallel connected electromagnetic exciters

[Table. 4] Vibration acceleration of the collecting plates in parallel connected electrostatic precipitators

	Vibration Acceleration (at 1.0 A, 45 Hz)	Vibration Acceleration (current calibrated for same power consumption)
Single Exciter	29.2 (m/s ²) (Fig. 10(a))	-
Double Exciters (Paralell Circuit)	25.8 (m/s ²) (Fig. 10(b))	35.1 (m/s ²) (Fig. 10(c))

4. 결론

4.1 직렬 배열형 전기집진탈진기

직렬로 전기집진탈진기를 배열 및 설치할 경우, 모듈의 수에 따라 선형적으로 또는 일정한 수치만큼 집진판의 탈진 가속도가 감소하거나, 특정한 목표 가속도 유지를 위한 필요전류가 증가할 것으로 예상하였으나 해당 수치들은 급격한 감소나 (6.9% ~ 37.6%) 급격한 증가를 (5% ~ 45%) 보여주었다. 그러므로 효과적인 전기집진탈진기의 탈진 과정을 위해서는 구동원이 되는 전자기 진동가진기의 설계 시, 위의 증감 경향을 고려하여 그 사양

을 높이거나 또는 입력시켜주는 전류의 세기 조정이 요구된다.

4.2 병렬 배열형 전기집진탈진기

병렬 배열에서는 가진기의 대수에 무관하게 총 1.0 A의 전류가 입력이 되었다. 가진기가 1대가 쓰인 병렬 배열보다, 가진기가 2대가 사용되고 그 전기회로의 연결이 병렬일 때 동일한 전류가 인가되었음에도 약 11.64%의 가속도 감소 현상을 보였다. 2대의 가진기를 사용하고 입력전류의 값을 소비 전력의 관점에서 동일하게 보정하였을 경우 약 16.80%의 가속도 증가 현상을 확인할 수 있었다. 전기집진탈진기가 설치되는 장소나 위치에 따라 그 배열은 다양할 수 있으나 본 실험연구의 결과에 따라서는 병렬회로로 구성된 복수의 가진기가 설치된 전기집진탈진기 시스템이 동일한 전력을 소비하면서도 더 높은 탈진 가속도 값을 기대할 수 있을 것이다.

References

- [1] J.H Choi, J.H Kim, B.D Lim, J.H Kim, Mathematical Vibration Modeling for an Electrostatic Precipitator System. Journal of Vibroengineering, Vol. 15, Issue 1, No. 955, 2013.
- [2] K.Y Yoo, M.D Oh, J.S Lee, Improvement of Submicron Particle Charging and Collection Performance in 2-Stage Parallel Plate Electrostatic Precipitators, The Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, Summer Symposium Collection of Dissertations, pp. 395-401, 1996.
- [3] W.S Hong, Y.J Kim, H.O Choi,, J.W Lee,, B.K Ha, B.H Ham, G.S Yoo, An Experimental Study on Electrostatic Precipitator, Korean Society for Atmospheric Environment, Collection of Dissertations, Vol. 1, pp. 95-102, 1994.
- [4] Y.J Kim, W.S Hong, S.H Jeong, B.K Ha, D.H Ha, J.S Yoo, A Numerical Study on the Collection Characteristics of a Wide Plate - Spacing Electrostatic Precipitator, The Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, Collection of Dissertations, Vol. 13, Issue 12, pp. 1205-1213, 2001.

최 지 현(Ji-Hyun Choi)

[준회원]



- 2013년 3월 ~ 현재 : 영남대학교
기계공학과 석사과정

<관심분야>

선형발진기 및 액츄에이터 설계

김 진 호(Jin-Ho Kim)

[정회원]



- 1999년 2월 : 한양대학교 공학사
(기계설계전공)
- 2002년 5월 : 미) U.C. Berkeley
공학 석사 (기계공학전공)
- 2002년 9월 ~ 2005년 9월 : 미)
U.C. Berkeley Ph.D. (기계공학
전공)
- 2007년 9월 ~ 현재 : 영남대학교
기계공학부 조교수

<관심분야>

초정밀 모터 및 액츄에이터 설계