

# 대용량 건식 진공펌프의 음향·진동 특성 연구

## A study of acoustic and vibration character of High volume dry vacuum pumps

신윤상<sup>†</sup> · 정완섭\* · 홍동표\*\* · 임종연\*\*\* · 김세환\*\*\* ·

Yun-Sang Shin, Wan-Sup Cheung, Dong-Pyo Hong, Jong-Yeon Lim and Se-Hwan Kim

**Key Words :** Dry vacuum pump (건식 진공펌프), Acoustic power level (음향출력), Vibration level(진동레벨)

Demands of high volume dry vacuum pumps on the domestic semiconductor and LCD industries are rapidly increasing as the size of wafers and LCD is increasing. This study introduces a new experimental setup for testing the reliability of vacuum pumps. The test system was designed to measure the acoustic pressure and mechanical vibration levels simultaneously. It is shown that the test system enables the analysis and evaluation of the performance of dry pumps under the different gas-load conditions. Detailed experimental results are shown to enable us to examine the characteristics and performance of dry pumps.

### 기 호 설 명

- $L_w$ : 측정 대상 음원의 음향 파워레벨 (dB)
- $\bar{L}_p$ : 실내 평균 음압레벨 (dB)
- $T$ : 잔향실의 잔향시간 (s)
- $T_0$ : 1s
- $V$ : 잔향실의 용적 ( $m^3$ )
- $V_0$ :  $1m^3$
- $S$ : 잔향실의 실내 총면적 ( $m^2$ )
- $\lambda$ : 측정 주파수 대역의 중심 주파수 음의 파장 (m)
- $P_{atm}$ : 대기압 (Pa)

### 1. 서 론

진공기술은 국내 반도체 제조 및 평판 디스플레이, 그리고 표면과학, 나노기술, 핵융합, 우주과학 등 첨단 과학기술 분야 뿐 아니라 식 의약 산업에 이르기까지 매우 광범위한 분야에서 없어서는 안될 기반 기술이다[1].

진공펌프는 대기압으로부터  $10^{-1}$  Pa 정도의 압력

범위까지 작동하는 중·저진공 펌프와  $10^{-1}$  Pa 영역부터 초고진공( $10^{-7}$  Pa) 내지 극고진공( $10^{-10}$  Pa) 영역까지 작동하는 고진공 펌프로 크게 구분한다. 특히 반도체 공정에 사용하는 펌프는 중·저진공용 펌프로서 도달압력은  $10^{-2}$  Pa 정도이다. 예를 들어 반도체 웨이퍼의 가스 증착 과정에서 여러 종류의 가스들의 화학반응 제어에 필요한 진공도 유지에 핵심적 역할을 하는 기계장치가 진공펌프이다. 최근 반도체 웨이퍼의 증가와 평판 디스플레이 크기 증가에 따라 진공펌프 용량 증대를 위한 많은 시도가 이루어지고 있는 실정이다.

대용량 건식진공펌프는 화학 증착(CVD) 공정, 플라즈마 CVD 공정, 건 식각(Dry Etching) 장치, PVD 공정 등에서 매우 많은 수가 사용되어지고 있으며, 이들 공정에서 펌프의 고장은 반도체 회사에 막대한 손실을 가져다주기 때문에 펌프의 신뢰성 향상은 매우 중요한 문제로 제기되고 있다[2~4].

펌프의 예기치 않은 고장으로 많은 손실을 입기 때문에 최근에는 대용량 공정에 필요한 높은 신뢰성 진공펌프가 요구되고 있다. 이런 요구에 대비한 새로운 진공펌프 개발이 이루어지고 있으며, 이들 대용량 진공펌프의 신뢰성을 평가할 수 있는 평가시스템이 구축이 절실한 실정이다. 급변 연구 목적은 이러한 대용량 진공펌프의 신뢰성을 평가하는 시스템 구축에 초점을 맞추어 수행되었으며, 본 논문에서는

<sup>†</sup> 전북대학교 대학원 메카트로닉스공학과  
E-mail : get21cshin@chonbuk.ac.kr  
Tel:018-353-1548

\* 한국표준과학연구원 역학그룹 음향진동

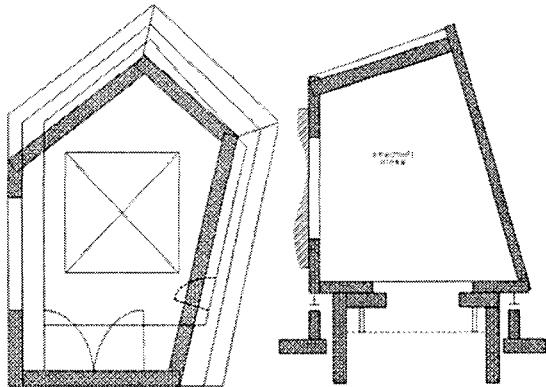
\*\*\* 한국표준과학연구원 진공기술연구팀

\*\* 전북대학교 기계공학부

현재까지 진행된 주요 연구내용을 소개하고자 한다.

## 2. 잔향실 구조 및 음향 파워레벨 산출 방법

본 실험에서 이용된 잔향실은 한국표준과학연구원에 설치되어있는 잔향실로서 그림 1.과 같다.



(a) 평면도 (b) 정면도  
그림 1. 잔향실 구조

잔향실의 크기는 전체 표면적( $S$ )이  $237 \text{ m}^2$ 이고, 전체 용적( $V$ )이  $250 \text{ m}^3$ 이다. 측정 대상 음원의 측정 주파수 대역마다의 음원의 음향 파워레벨은 잔향 시간을 사용하여 산출하는 방법과 기준 음원의 음향 파워레벨과 비교하여 산출하는 방법이 있다[5]. 본 연구에서는 전자를 사용하여 음향 파워레벨을 산출하였다. 측정 대상 음원의 음향 파워레벨은 잔향실의 잔향시간과 마이크로폰을 연속 이동하여 측정된 공간평균 음압레벨을 이용하여 식(1)과 같이 산출하였다.

$$L_w = \bar{L}_p - 10 \log_{10} \left( \frac{T}{T_0} \right) + 10 \log_{10} \left( \frac{V}{V_0} \right) + 10 \log_{10} \left( 1 + \frac{S\lambda}{8V} \right) - 10 \log_{10} \left( \frac{P_{atm}}{10^5} \right) - 14 \quad \dots )$$

## 3. 측정 장치 및 실험 방법

건식 진공펌프의 음향 파워레벨을 산출하기 위해 rotating boom에 마이크로폰 한개 설치하였으며, 측정방법은 ISO 3741:1999 [5]방법에 따라 그림 2와 같이 실험하였다.

음원은 잔향실의 모든 벽으로부터  $1.5 \text{ m}$  이상 떨어진 바닥 위에 설치한다. 마이크로폰은 잔향실의

모든 표면으로부터  $1.0 \text{ m}$  이상 그리고 음원으로부터  $1.0 \text{ m}$  이상 떨어지게 설치하였다.

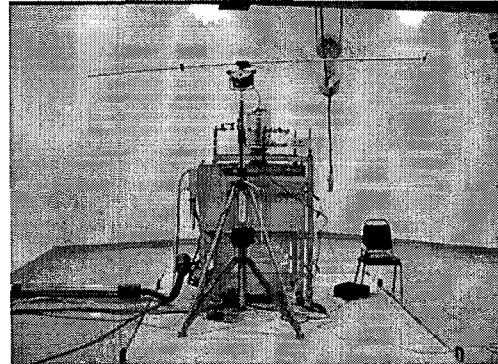


그림 2. 잔향실에 설치된 건식 진공펌프

공간 평균음압을 측정하기 위하여 마이크로폰을 rotating boom을 사용하였으며, 이동 경로는 원호(반경  $1.5 \text{ m}$ )로 하여 측정하였다. 측정 시간은 rotating boom이 2 회전하는 시간인 64 초를 선정하였으며, 청감보정(A-weighting)된 공간평균 음압과 사운드 파워 레벨을 각각 구하였다.

진동 측정은 건식 진공펌프의 회전부위인 드라이 펌프와 부스터펌프들에서 측정하였다. 즉 드라이 펌프의 흡기부에 3축(회전축 방향 x-축, 좌우의 y축, 그리고 상하의 z-축) 방향의 진동과 증간 부스터 펌프의 흡기부 플랜지에 단축(상하 방향)으로 진동 측정하고, 상단 부스터 펌프에 흡기부 플랜지에 단축(상하 방향)으로 진동을 측정하였다.

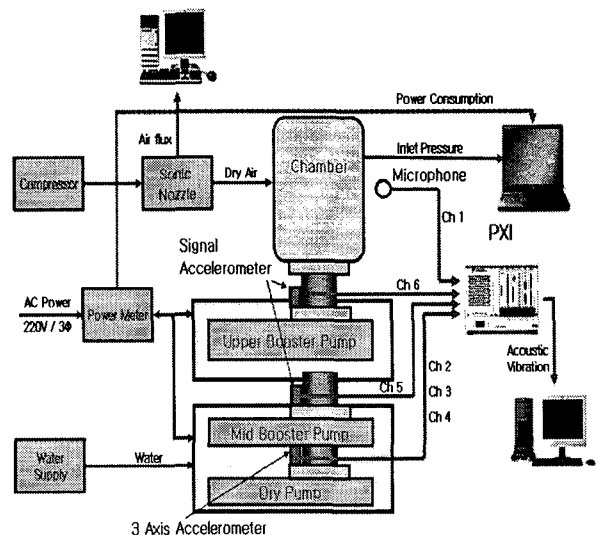


그림 3. 건식 진공펌프 종합 성능 측정 장치 개략도

그 외에 진공펌프의 성능을 평가하는 요소로 진공 챔버 내부 압력, 공기 유량, 소비전력 그리고 진공펌프에 설치되어 있는 PMS(pump monitoring system)의 기록 결과들을 함께 분석하였다. 건식 진공펌프의 종합성능 측정 장치의 개략도는 그림 3과 같다.

#### 4. 분석 방법 및 결과

본 실험에서 수분을 제거한 공기(dry air)를 80, 100, 120, 그리고 150 *slm* (standard liter per minute) 유량을 3시간 동안 흘려 보내면서 진공펌프의 내구성을 평가하였다. 그리고 300 *slm* 의 대 유량에서는 1 시간 동안 흘려 보내면서 진공펌프의 내구성을 실험을 수행하였다. 이러한 흡입공기 부하조건을 유지한 상태에서 진공펌프의 음향 및 진동 신호를 샘플링 주파수 40,960 Hz로 설정하여 10분 간격으로 30초씩 측정신호를 기록하였다. 음향 및 진동 신호들은 PXI-1000B로 24-bit binary 신호로 변환되어 PC로 저장되며 Matlab software를 이용하여 측정된 신호들의 분석을 수행하였다.

음향진동 신호의 분석은 그림 4에 보인 신호처리 절차를 통하여 분석하였다. Matlab software로 작성된 프로그램을 통해 공간 평균음압, 음향 출력, 그리고 가속도 및 속도 레벨의 실효치 값을 계산하였다.

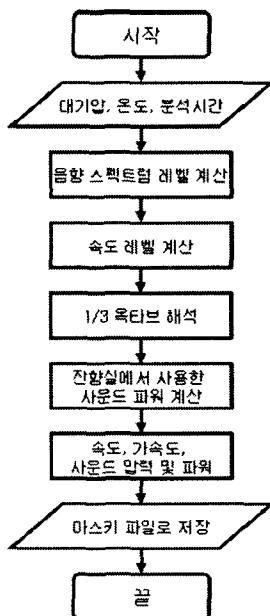


그림 4. 음향-진동 신호의 분석 순서도

금번연구에서 소개하는 드라이 펌프 종류는 A사의 다단 루츠 펌프, B사의 클로 펌프, 그리고 C사의 스크류형 펌프이다. 부스터 펌프는 3사가 모두 루츠 타입을 사용하고 있었다. 그림 5는 300 *slm* 유량을 흘려줄 때 1 시간 동안의 소음 레벨을 각각 보여주고 있다. 삼사의 공간평균 음압레벨은 99.3 dB(A), 86.9 dB(A), 95.8 dB(A)로 나타났다. 여기서 소음 레벨은 다단루츠와 스크류 타입이 클로 타입에 비해 4.2배, 2.8배가 크게 나타났다.

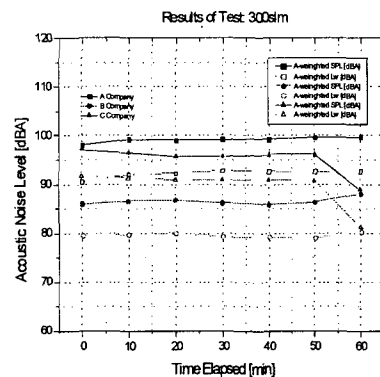


그림 5. 300 *slm* 조건에서 공간평균 음압 레벨

그림 6은 드라이 펌프의 x축, y축, 그리고 z축 방향의 진동크기를 보이고 있다.

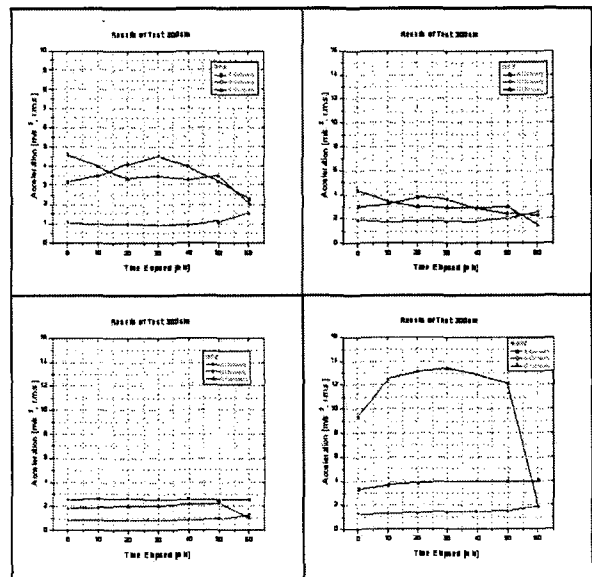


그림 6. 300 *slm*에서 드라이펌프 및 중간 부스터펌프에서 측정된 진동 수준

x축 방향 진동은 다단루츠 타입이  $3.142 \text{ m/s}^2$ ,  $r.m.s.$ 로 시작하여 30분에  $4.52 \text{ m/s}^2, r.m.s.$ 까지 증가하였다가 다시 감소하는 경향을 보였다. 스크류 타입은  $4.595 \text{ m/s}^2, r.m.s.$ 로 시작하여 시간이 흐를수록 안정되어 가는 것을 확인할 수 있었다. 이들과는 달리 클로 타입은  $0.1 \text{ m/s}^2, r.m.s.$ 의 일정 수준의 진동을 보였다. 그러나 y축, z축은 변동없이 일정함을 확인할 수 있다. 중간 부스터펌프에서는 다단 루츠는  $3.9 \text{ m/s}^2, r.m.s.$ , 클로 타입은  $1.5 \text{ m/s}^2, r.m.s.$  스크류 타입의 경우  $13.4 \text{ m/s}^2, r.m.s.$ 까지 증가했다가  $1.9 \text{ m/s}^2, r.m.s.$ 로 감소하는 등 큰 진동 변화를 보였다.

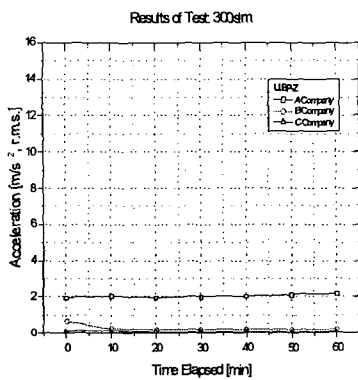


그림 7. 300slm 상단 부스터펌프의 진동

그림 7은 상단 부스터펌프의 상하방향의 진동에 대한 측정 결과를 보여주고 있다. 다단 루츠타입의 경우  $2 \text{ m/s}^2, r.m.s.$ 의 가속도, 클로 타입은  $0.3 \text{ m/s}^2, r.m.s.$ , 스크류 타입은  $0.1 \text{ m/s}^2, r.m.s.$ 의 가속도를 각각 보였다.

#### 4. 결론

본 논문은 잔향실을 이용한 3단 전식 대용량 진공 펌프의 성능 평가 장치와 분석과정을 소개하고 있다. 5종의 부하 조건 (80, 100, 120, 150, 300 slm 유량)에 따른 진공펌프의 소음 및 진동신호를 각각 측정하여 분석된 결과를 제시하였다. 공간평균 음압 레벨은 클로 타입의 펌프가  $86.9 \text{ dB}(A)$ 로 가장 낮게 나타났으며, 진동 가속도 레벨은 클로 타입의 드라이 펌프가  $0.1 \text{ m/s}^2, r.m.s.$ 로 낮게 나타났

다. 그러나 스크류형의 중간 부스터 펌프 진동은 운전 중 매우 큰 변화를 보였다. 상단 부스터펌프의 경우 세 가지 타입 모두 일정한 가속도 진동을 보였다.

#### 후 기

본 연구결과는 진공기반구축 사업의 지원으로 수행된 연구결과의 일부이다.

#### 참 고 문 헌

- (1) Nigel S. Harris, "Modern Vacuum Practice", McGRAW\_HILL BOOK COMPANY
- (2) Hong Yeon Lim, Wansup Cheung, Yong Moon Choi, Dae Jin Seong, Yong Hyeon Shin, Kwang Hwa Chung, "Mass Flow and Dry Pump-ing Characteristics for Low Vacuum Generation and Control on BIEN Technology"
- (3) B. Engers, H.U.Bauer, "Cost-effective PVD coatings in batch systems", Surface and Coatings Technology 116-199, 1999
- (4) Je-dam Ryu, Wan-sup Cheung, Jong-Yeon Lim, Dong-Pyo Hong, "Development integrated Evaluation system for Dry Pumps", 학술대회지 p.p.221-224, 2004
- (5) International Standard ISO 3741: 1999. Acoustics-Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure-Precision methods for reverberation rooms
- (6) "공 공학" 한국경제신문