

진공청소기의 소음 분석방법 (흡음방이 취부된 경우)

임 무 생

Noise Analysis Technique in an Electric Vacuum Cleaner

Moo - Saeng Lim



- 임무생 (대우전자(주) 가전연구소장)
- 1944년생.
- 기계공학을 전공하였으며, 대우전자에서 세탁기, 진공청소기 전자렌지의 개발을 수행하고 있다.

1. 머리말

가정용 진공청소기는 약 30,000rpm 정도로 고속구동되는 진공펌프를 장착하여 펌프 전후의 공기에 압력차를 유발하고, 이 압력차를 이용하여 각종 분진을 흡입한 다음 진공청소기 내부에 설치되어 있는 다수의 여과기(filter)를 통해 이 분진들을 여과하도록 되어 있다.

근래에 들어 생활수준이 향상됨에 따라 가정용 전기·전자제품에는 그 기능상의 성능과 더불어 사용에 있어서의 편리함과 쾌적함 등이 절실히 요구되는 추세인데, 현재 시판되는 진공청소기들의 경우 사용중 발생하는 극심한 소음·진동이 소비자들에게 가장 불만스럽게 느껴지고 있어 개선이 시급한 부분이다.

진공청소기에서 발생하는 소음·진동은, 고속회전하는 진공펌프와 기타 부품들의 기계적 진동에 의한 것과 복잡한 내부 유로 및 흡·배기구 주위에서 발생하는 유체소음으로

나누어 생각할 수 있다. 진공펌프에 의한 진동음과 펌프 내부에서 발생한 유체소음은 진공청소기의 몸체를 투과하여 외부로 전달되며, 흡·배기구 주위에서 발생한 유체소음은 그대로 대기중에 방사된다. 운전조건 및 제품에 따라 다소 다르기는 하나, 본체를 투과하는 투과음과 흡·배기구 주위에서 발생한 유체소음의 소음치는 비슷하다고 알려져 있는데 진공청소기에 있어서 효과적인 저소음화 대책을 세우기 위해서는 이 세 가지 음원 모두에 대한 고려가 필요하다. 그러나 진공청소기의 원리상 현재로서는, 고속회전하는 진공펌프의 채용이 불가피하므로 이 펌프로부터의 소음발생 자체를 피할 수 없으며, 흡기구와 배기구는 대기중에 노출되어 있고 흡입 및 여과성능과의 상관관계로 인하여 형상변경에는 많은 제약이 따르므로 이들로부터 발생하는 유체소음 또한 불가피하다. 진공청소기의 저소음화를 위해서는 진공펌프와 흡·배기구를 포함하는 진공청소기 내부의 유로를 개선하여 발생소음을 줄이는 것이 최적의 방법이라고 할 수 있으나, 펌프의 진동특성

과 성능은 작동조건에 따라 매우 민감하게 변화하며, 진공청소기 내부의 유로 또한 매우 길고 복잡하기 때문에 이들을 정확히 해석한다는 것은 거의 불가능하다.

이 글에서는 이러한 배경에서 진공청소기의 내부에서 발생하는 소음에 대한 차음(遮音)에 중점을 두어 진공청소기 내부에 흡음방(吸音房) (muffler chamber system)을 설치하여 그 진동·소음 저감효과를 분석하는 방법을 소개하고자 한다.

그림 1은 흡음방이 있는 진공청소기 각 부위의 명칭을 나타내고 있는데, 흡음방은 앞케이스(front case)와 뒤케이스(rear case) 및 이 내부에 부착되는 제 흡음장치들로 구성되어 있다.

원래 소음기(muffler)는 음의 전달감소를 목적으로 형성시킨 파이프 또는 덕트(duct)의 어떤 부분을 말하는데 기체의 흐름을 허

용하면서 일종의 음향적 여과기의 역할을 하며 그 성능은 주파수에 따라 변한다. 여기에는 분산소모형(dissipative muffler)과 반응형(reactive muffler)의 두 가지가 있는데, 분산소모형은 그 성능의 대부분이 흡음제에 의하여 얻어지게 되며 비교적 넓은 주파수 대역에서 소음감소 특징이 있고, 반응형은 기하학적 형상에 의해 성능의 대부분이 얻어지는 것으로 한 개 이상의 챔버(chamber), 레조네이터(resonator) 또는 한정된 단면의 파이프를 통해 음을 반사시켜 음원으로 돌려 보내거나 챔버 내에서 왔다갔다 하게 하여 음의 통과를 방지하는 방법이다.

흡음방은 이 두 가지 방식의 소음기 원리를 혼합·발전시킨 것으로 음원이 되는 펌프·모터를 철판이 인서트(insert) 성형된 케이스로 둘러싸 챔버를 만들어준 것은 반응형 소음기의 원리이며, 모터·펌프 주위와

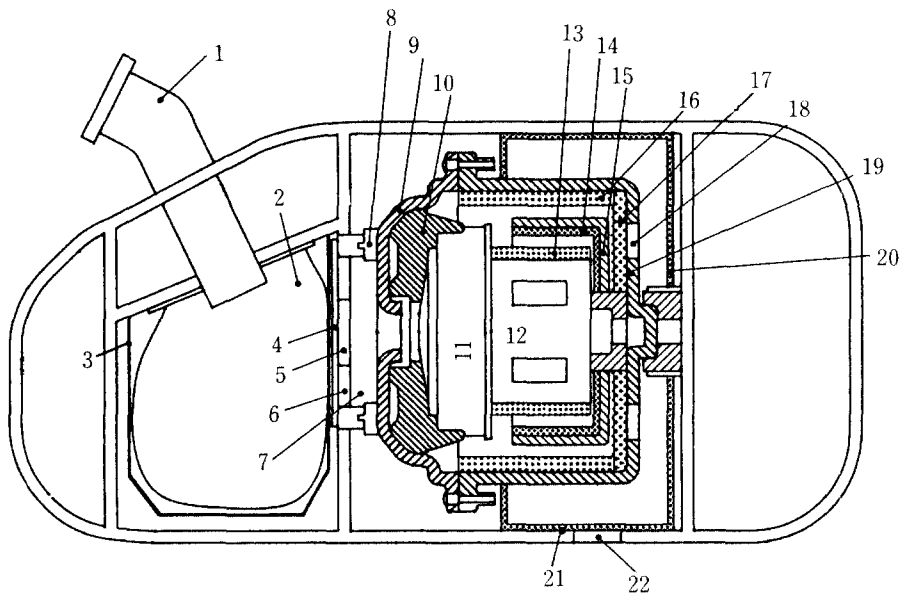


그림 1 진공청소기 각 부위의 명칭 및 흡음방의 구조

주) 1. 엘보우, 2. 먼지주머니, 3. 리브, 4. 앞여과기, 5. 칸막이원판, 6. 칸막이 그릴, 7. 흡입실, 8. 패킹, 9. 앞케이스, 10. 캡(고무), 11. 펌프, 12. 모터, 13. 흡음제(모터), 14. 흡음제(가이드), 15. 가이드, 16. 흡음제, 17. 배기필터, 18. 배기구, 19. 뒤케이스, 20. 흡음제, 21. 배기여과기, 22. 배기그릴.

케이스 내부에 다수의 흡음재를 부착한 것은 분산소모형 소음기의 원리이다. 흡음방이 없는 진공청소기에서는 플라스틱제 본체만이 내부에서 발생한 소음이 외부로 전파되어 나가는데 대한 차단벽 역할을 하였으나 흡음방이 있는 경우는 소음기의 기능에 의한 차음의 효과와 함께 기계적 진동에 대한 방진(防振)의 효과도 거둘 수 있는 것이다.

2. 소음측정원리

사람은 일상생활 속에서 소리(sound)라는 것을 듣게 되고 이에 의해 각각의 반응을 보이며 살아가고 있다. 소리를 음(音)이라 하며 음의 발생을 매질의 움직임에 의한 에너지 전달로 이해하고 있다. 따라서 음은 파동을 가지게 되어 음파(sound wave)로 불리우는 파에 의해 이동되며 이동시 주위의 매질에 압력변동을 유발시킨다. 따라서 실내에서 발생하는 소리와 목욕탕 등에서 나는 소리는 매질의 다른 성질(공기밀도)에 의해 다르게 느껴진다. 일반적으로 음의 주파수라 하면, 1초 동안 음의 고저가 몇 번 발생하였는가를 의미하며 사람이 소리로서 느끼는 주파수 범위를 20Hz에서 20kHz로 나타내어 가청주파수라 한다.

그러나 소리 중에서도 사람에게 불쾌감을 일으키거나 심하면 고통까지 유발시키는 원하지 않는 소리가 있는데 이를 소음(noise)이라 부른다. 그러므로 소음이란 발생하지 않아야만 하지만 일상생활에서는 어쩔 수 없이 발생하여 이의 차단을 위한 인간의 노력이 부단히 진행되고 있다. 이러한 노력들이 공학적, 과학적 차원으로 발전하려면, 우선 소음 자체에 대한 정의와 측정이 필요하며 그 중 가장 기본이 되는 것이 소음의 크기를 나타내는 방법이다. 소음을 다루는 공학에서는 소음의 크기를 dB이라는 지수 함수의 비를 이용하여 매질에 전파되는 압력에너지로 표시한다.

소음 측정장비는 매질의 압력 변동을 측정하기 위한 센서(sensor)로 마이크로폰(micro-phone)을 사용한다. 이 마이크로폰은 인간의 고막과 같은 매우 얇은 여러 개의 막(film)으로 구성되어 있으며, 이 막의 압력 전파에 따른 움직임을 전하(電荷)의 양으로 변환시켜 증폭기를 통해 주파수분석기로 보내면, 주파수분석기는 입력된 신호를 필터링하여 주파수별로 압력에너지의 지수비를 dB의 차원으로 표시하게 된다. 이 때 주파수분석기는 그 출력을 화면으로 혹은 데이터 형태로 기억장치에 저장하기도 하여 소음치의 분석에 커다란 기여를 하고 있다.

3. 소음측정 장치의 구성 및 시험방법

3.1 소음·진동 측정시험

소음측정을 위한 무향실은 가로, 세로, 높이가 각각 5m×7m×3m이고 독립기초 위에 설치되었으며 암소음(background noise)의 강도는 20~30dB(A)로 유지되고 있다. 소음측정을 위한 시험장치의 구성은 그림 2에 나타내었으며, 무향실 내의 진공청소기 및 마이크로폰의 상대적 위치는 그림 3에 나타내었다. 무향실의 바닥은 시험자가 들어갈 수 있도록 7~8cm 간격의 철망으로 되었으며, 바닥의 아래쪽도 다른면과 동일한 흡음재가 설치된다. 마이크로폰의 위치는 위쪽(Z방향)인 경우 진공청소기 위쪽 1m 지점, 측면(Y방향)인 경우 진공청소기 뒤쪽에서 보아 원편으로 1m 지점, 전면(X방향)의 경우 본체 전단부로부터 1m의 지점에 설치한다. 각 방향에서 마이크로폰으로 수집된 신호는 무향실 외부 조정실에 설치된 소음계(sound level meter)로 연결되고, 소음계로부터의 신호는 다시 스펙트럼(spectrum) 분석을 위하여 스펙트럼 분석기(dynamic spectrum analyzer)로 보내진다. KS-C9101에 의한 소음치는 소음계 청감 보정회로 A 특성으로 표시하게 되어 있었으므로⁽¹⁾ 진공청소기 통

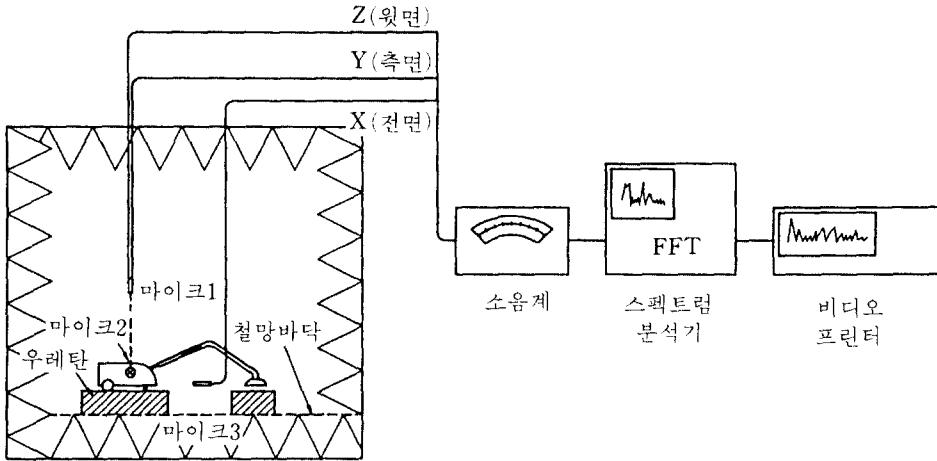


그림 2 무향실 및 소음측정장치 배치도

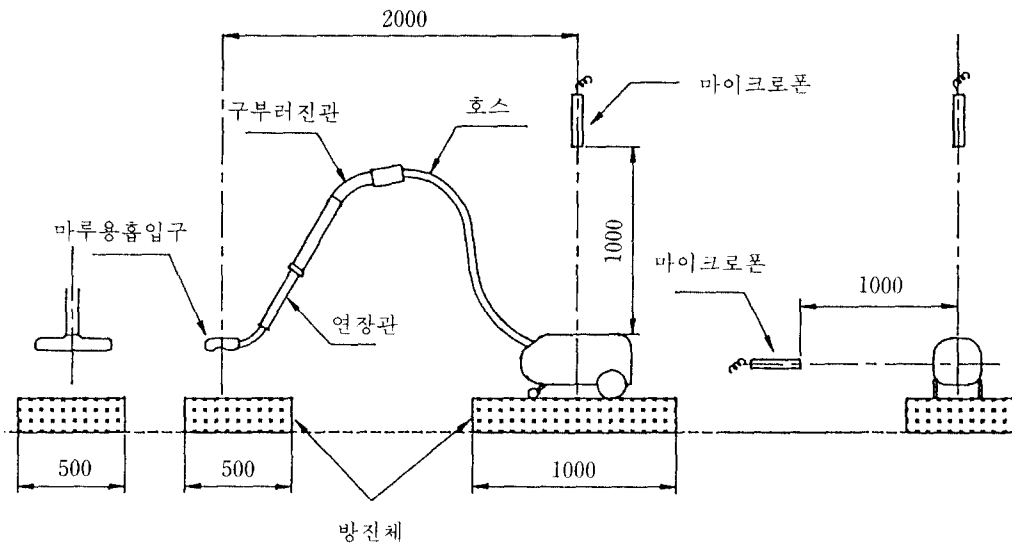


그림 3 진공청소기 및 마이크론의 위치(단위 : mm)

청 소음 데시벨 값은 dB(A)로 측정된 값을 표시한다.

펌프·모터의 소음측정도 진공청소기 본체의 소음 측정과 동일한 방법으로 행하여지나, 마이크론 펌프입구로부터 1m 전방에 설치하면 그 측정이 가능하다.

운전중인 진공청소기의 본체 앞쪽은 펌프

의 흡입력에 의해 최대 약 2400mmAq 정도의 진공상태가 되므로 플라스틱 구조물인 본체는 외부에서 안쪽으로 휘어지는 경향을 보이고, 나머지 부분 즉 펌프·모터를 포함하는 본체의 뒤쪽은 펌프를 통과한 공기가 빠져나가는 통로를 이루므로 최고 약 40 mmAq 정도의 가압상태가 된다.

3.2 흡입일률 측정시험

흡입일률이란 정격전압, 정격주파수 하에서 진공청소기를 표준 측정상태로 운전하였을 때 선단 흡입구에서의 공기역학적 동력의 최대치를 말하는데, 이는 공기유량과 진공도의 곱에 비례하고 단위로는 Watt를 사용한다.

흡음방을 설치함으로써 진공청소기 내부의 유로는 좀더 복잡하고 길어질 수 밖에 없는데, 이것은 결국 유동저항으로 나타나므로 유량을 감소시켜 흡입일률의 감소를 초래할 우려가 크다.

흡입일률의 측정방법은 ASTM, KS 등에 규정되어 있고, 진공청소기 제조업체에서 나름대로 수정된 방법 등을 사용하기도 하는데 이 경우에서도 ASTM의 방법에 의한 흡입일률 측정시험을 주로 하는 것이 통상의 방법이다.

ASTM 방법이란 ASTM F558-83⁽²⁾에 구체적으로 규정되어 있으며, ASTM F431-87⁽³⁾에 규정된 규격화된 균압용기(plenum chamber)와 오리피스(orifice)가 주된 구성품을 이루고 있다. 균압용기는 내용적이 457.2×254.

0×457.2mm인 직사각형 통이며 알루미늄 재질이다. 오리피스는 ASTM F431에 따라 10개의 지름으로 하며 구멍의 모서리는 45°의 각을 갖는 형태로 규정되어 있다.

그림 4는 일반적으로 사용되는 일률측정 시스템의 개략도를 나타낸 것이다. 이 시스템은 진공도 측정, 소비전력 측정 및 대기상태 측정으로 크게 나누어 진다. 진공도 측정에는 압력변환기(pressure transducer), 증폭기(amplifier), 디지털 멀티미터(digital multimeter), PC, 프린터가 쓰인다. 측정된 진공도는 압력변환기에 의해 아날로그 신호로 바뀐 뒤, 증폭기에서 이 신호가 필터링되고 증폭되어 진다. 디지털 멀티미터에서 아날로그 신호가 디지털 신호로 바뀌고, 이어서 GPIB 인터페이스를 통해 PC에서 원하는 단위로의 압력으로 환산된다.

소비전력 측정부에서는 먼저 자동전압조정기(AVR; automatic voltage regulator)에 의해 일정 전압으로 조정된 220V, 60Hz의 전원이 진공청소기로 공급된다. 그러나 진공청소기의 부하에 따라 공급되는 전원의 전압이 변화하게 되므로 이를 가변전압 변환기를

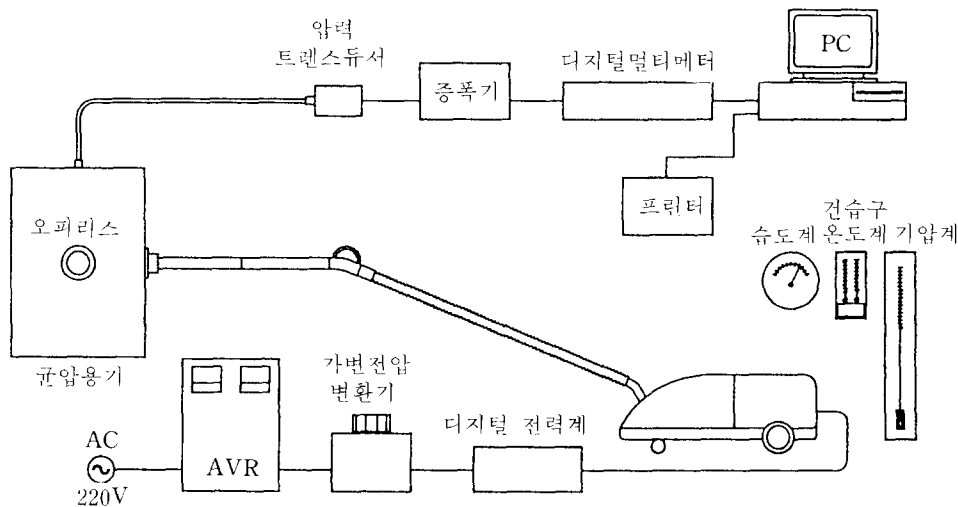


그림 4 일률측정 시스템

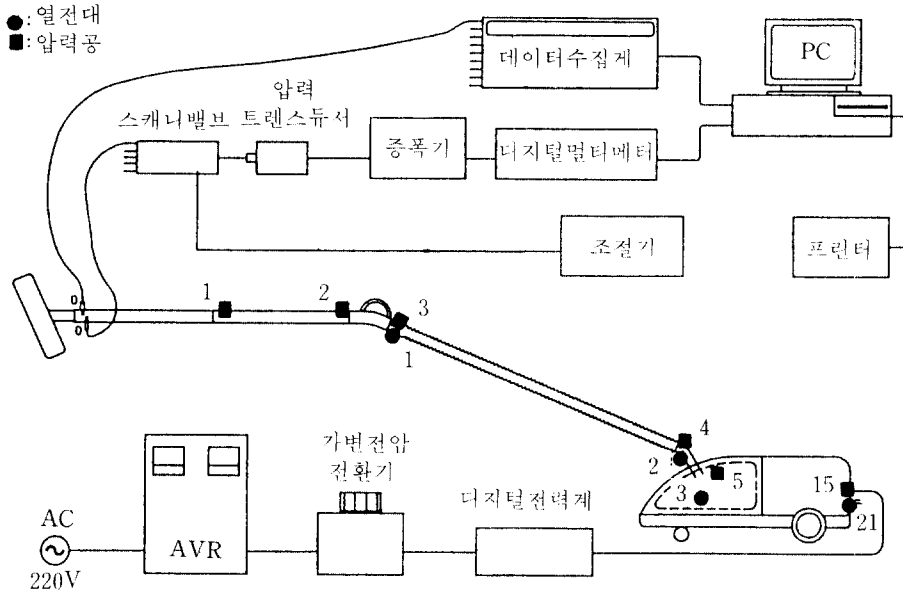


그림 5 온도 및 압력 측정 시스템

통해 정격 220V로 지속적으로 유지시켜야만 정밀한 실험이 이루어질 수 있을 것이다.

ASTM 방법은 10개의 오리피스를 사용하여 일률, 유량을 측정하고 이들 측정치로부터 최대 일률을 찾기 위해 Best Fit 방법을 사용한다. 이 경우 최대 측정점 근처의 다섯 개의 측정치로부터 Curve Fit을 하기 때문에 유량-일률 특성곡선이 최대 일률점에서 폭이 좁을 경우 추정최대일률과 실제최대일률 사이에는 큰 오차가 발생할 수 있다. 이론상 실제의 최대일률은 측정하지 못한 값으로 측정된 일률중에서 가장 큰 값보다 크거나 같아야 하나 ASTM 방법에 의한 경우는 측정치보다 작게 나타나는 경우가 많으므로 흡입 일률이 높은 진공청소기를 개발하려 하는 제조업체로서는 다소 불리한 방법이기도 하다. 보다 정확한 측정을 위해서는 오리피스의 수가 많은 것이 좋는데 이 경우 추가되는 오리피스는 최대일률점 근처의 것을 사용하는 것이 바람직하다.

3.3 온도·압력 측정 시험

진공 펌프에 의해 공기에 주어지는 전압력 (total pressure)은 유체마찰, 유동박리, 확산 등의 공기역학적 현상에 의해 손실되어 열에너지로 변화한다.⁽⁴⁾ 분진을 흡입하는 기능은 공기의 운동에너지가 갖고 있으므로 진공청소기에서 열에너지는 아무런 소용이 없을 뿐 아니라, 펌프의 동작에 따라 발생하는 열과 더불어 과열에 의한 고장 및 사고의 원인이 된다. 특히 흡음방이 있는 경우 진공청소기 내부에는 종래의 경우보다 더한 국부적 온도상승이 우려되므로 온도분포는 반드시 검토하여야 할 항목이다.

그림 5는 온도 및 압력 측정 시스템을 나타낸 것이다. 이 시스템으로 48채널의 압력, 60 지점의 온도를 측정할 수 있다. 압력측정에는 스캐니벨브(scanivalve), 압력변환기, 증폭기, 디지털 멀티미터, PC가 사용되고 있으며 스캐니벨브는 여러 압력공 (pressure tap)을 하나의 압력변환기에 순차적으로 접

속함으로써, 한쌍의 압력변환기 및 증폭기로 여러 지점의 압력을 일관성있고 신속하게 측정할 수 있도록 해준다. 그리고 온도측정에는 열전대(thermocouple)를 쓰고, 여기서 나온 아날로그 신호를 데이터 수집기(data acquisition system)에서 디지털 신호로 변환 후 PC에 저장하도록 한다.

4. 측정예

4.1 소음·진동

이 글에서 소개하는 분석방법에 의하여 분석한 진공청소기의 주요 음원인 펌프·모터 어셈블리의 소음·진동 특성의 특정한 예를 그림 6에 예시하였다. 그림 6에서 왼편 스케일은 펌프 흡입구 전방 1m에서 마이크로폰으로 측정된 소음 dB(C)를 나타내며 오른편 스케일은 가속도 트랜스듀스를 펌프 케이스 상단부에 장착하여 측정된 가속도를 기준 가속도 0.001m/s²과 비교한 dB 값을 나타낸다. 그림 6에서 보는 바와 같이 기계적 진동, 즉 가속도 특성과 소음 특성의 경향이 많은 부분에서 일치하고 있음을 볼 수 있다.

흡음방 설치에 따른 소음·진동 특성의 변화를 보기 위하여 흡음방이 설치된 펌프·모터와 설치되지 않은 펌프·모터의 소음·진동 특성을 측정하였으며 그림 7에 그 결과를 예시한다.

그림 7은 펌프·모터 전방 1m 지점에서

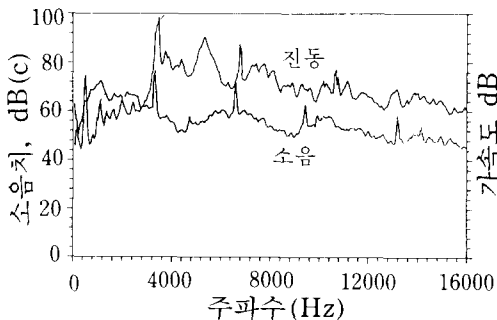


그림 6 펌프·모터의 소음 및 진동 특성

측정한 소음 dB(A)을 나타낸다. 이 때의 소음 정도는 흡음방이 있는 펌프·모터가 흡음방이 없는 것에 비해 평균적으로 3.5dB(A) 감소하였음을 보이고 있다.

그림 8은 흡음방이 있는 경우와 없는 경우에 진공청소기 본체 후면에서의 진동특성을 비교하여 나타내었다. 그림 8을 보면 내부에 진공이 인가되는 부분에서는 흡음방의 설치에 따른 진동 특성의 변화가 거의 없으나, 내부에 압력이 걸리는 부위, 즉 펌프·모터가 설치되어 있는 진공청소기 본체 뒤쪽의 진동은 흡음방의 설치에 따라 상당히 감소되고 있는 것을 볼 수 있다. 이 경향으로부터 흡음방은 펌프·모터에서 발생하는 소음을 외부로 전달되지 못하도록 하는 역할과 함께

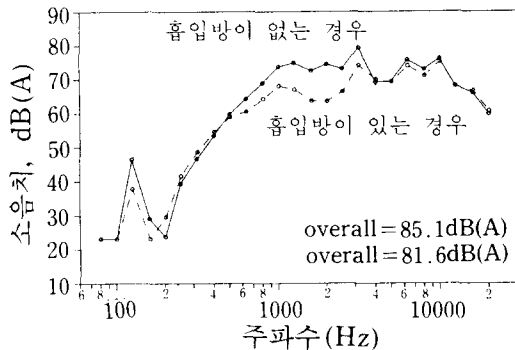


그림 7 흡음방 설치 유·무에 따른 펌프·모터의 소음·진동 특성

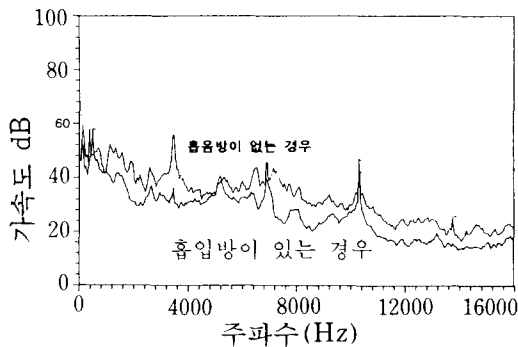


그림 8 흡음방 유·무에 따른 진공청소기 본체 뒤쪽의 기계적 진동 특성

펌프·모터를 진동원으로 하는 기계적 진동 자체에 대한 방진구의 역할도 하고 있다는 것을 알 수 있다. 이것은 흡음방 내에 부착되어 있는 흡음체에 주로 기인하는 것으로 설명된다.

4.2 흡입 일률

흡음방이 흡입일률에 미치는 영향을 알아보기 위하여 흡음방을 이루는 여러 부품을 단계별로 부착하면서 각 부품들이 흡입일률에 미치는 영향을 이해하고자 하는데 다음의 5가지 경우로 나누어 실험조건을 고려해 볼 수 있다.

- 실험조건① : 펌프+앞케이스+고푸 캡
 실험조건② : 실험조건①+펌프 흡음제
 실험조건③ : 실험조건②+가이드+가이드 흡음제
 실험조건④ : 실험조건③+뒤케이스+뒤케이스 흡음제
 실험조건⑤ : 실험조건④+배기여과기

표 1에서는 각 실험 조건에서 세 개의 세트에 대한 각 3회 측정값의 평균을 제시한다.

표 1을 보면 펌프 흡음제는 펌프의 흡입일률을 약 4.4Watt 감소시키는 것을 알 수 있으며, 가이드와 흡음제의 부착은 약 6Watt, 뒤케이스와 뒤케이스 흡음제는 약 1Watt, 그리고 배기여과기의 부착은 약 1Watt의 감소 요인이 됨을 알 수 있다.

표 1 흡음방 구성요소들의 추가에 따른 흡입일률의 변화

실험조건	평균 유량 (m ³ /min)	평균 일률 (Watt)
①	1.480	376.5
②	1.474	372.1
③	1.453	365.9
④	1.459	364.9
⑤	1.443	363.8

이와 같이 흡음방은 소음·진동의 저감을 위해서 설치되지만 동시에 흡입일률이 감소되어 흡음방이 없는 경우와 비교하여 약 10Watt의 흡입일률 감소가 나타나는데, 이 수치는 흡음방의 설치로 획득할 수 있는 소

5. 맺음말

본 해설에서는 가정용 진공청소기에서 일반적으로 사용되는 진동·소음 측정기법과 진공청소기의 저소음화를 위해 별도로 고안된 흡음방이 장착된 진공청소기에 대한 측정예를 소개하였다. 본 해설에서 다룬 흡음방은 일반적인 소음기의 원리를 응용한 장치로서 저소음화가 특히 요구되는 가정용 진공청소기의 효과적인 차음장치로 사용가능함도 확인하였다.

추가적으로 진행될 과제는 흡기구에서 배기구에 이르는 진공청소기 본체 내부의 진유로에 대한 개선과 흡음방 내에 부착되는 보다 우수한 흡음제의 개발, 진공청소기의 전 부분에 대한 기밀유지 등이 있을 수 있으며, 위의 분야에 대한 추가적인 지식들이 보강된다면 흡음방의 효과를 보다 높일 수 있는 전체 시스템이 형성될 수 있을 것이다. 음 저감의 효과를 감안할 때 수용 가능한 정도라 판단된다.

참고문헌

- (1) KS C 9101, 1989, 전기 진공청소기.
- (2) ASTM F558, 1987, "Measuring Air Performance Characteristics of Vacuum Cleaners," Vol. 15.07.
- (3) ASTM F431, 1987, "Air Performance Measurement Plenum Chamber for Vacuum Cleaners," Vol. 15. 07.
- (4) Cumsty, N.A., 1989, Compressor Aerodynamics, Longman Scientific & Technical. 