

청소기용 Cyclone 소음원 및 저감방법[#]

Noise Reduction Method and Sources of Cyclone Sound for Vacuum Cleaner

이준화[†] · 홍승기* · 주재만** · 오상경** · 송화규** · 오장근*

Jun-Hwa Lee, Seung-Gee Hong, Jae-Man Joo, Sang-Kyoung Oh,
Hwa-gyu Song and Jang-Keun Oh

(2005년 1월 4일 접수 : 2005년 3월 24일 심사완료)

Key Words : Cyclone(사이클론), Vacuum Cleaner(진공청소기), CFD(전산유체해석), Pressure Drop(압력손실), Flow Rate(유량), Noise(소음)

ABSTRACT

Cyclone is widely adopted in the vacuum cleaner, because of the simple structure, the high dust collection efficiency and its transparency feature, which can be shown to the customer. At past times, cyclone performance was represented by collection efficiency, flow rate, pressure drop etc. At recent times the noise problem is getting important as cyclone comes into home-appliances. In this paper, pressure drop of cyclone and it's noise were measured at the variation of the cyclone structure and the main sources of cyclone peak noise was found by experimental and numerical analysis. In addition, the structure for peak noise reduction was suggested and it is beneficial both pressure drop and noise reduction.

1. 서 론

사이클론은 유체를 선회 운동시킴으로써 입자에 원심력을 부여하여, 관성력을 이용 입자를 분리 포집하는 집진장치이다.

사이클론은 응용성이 다양해서 석탄가스화 복합발전 플랜트, 쓰레기 소각로, 순환유동층 보일러 및 각종 산업공정에서 배출되는 오염가스로부터 입자상 물질을 집진 하는 장치에 다양하게 적용 되고 있다.

청소기에 사용되는 사이클론은 그 구조가 간단하고 먼지의 집진 효율이 높을 뿐만 아니라, 투명한 외벽

을 통해 먼지가 집진 되는 과정을 소비자에게 직접 보여 주는 장점으로 인하여, 최근의 가정용 전기청소기에 적극 채용되고 있다. 또한 사이클론 집진 기술의 발전으로 청소기의 먼지봉투를 완전히 대체하는 수준에 이르렀다.

2000년에 들어와서는 거의 모든 청소기 제조사들이 사이클론을 먼지봉투 대신 적용하고 있으며, 시장 영역도 점점 더 확대되어 가고 있는 추세이다.

지금까지는 사이클론의 성능을 나타내는 주요한 지수로 집진효율 및 유량 그리고 압력손실 등이 주를 이루어 왔고, 사이클론이 일으키는 소음에 대해서는 등한시 되어온 것이 사실이다. 이에 따라 청소기의 주요 소음원 중의 하나로 사이클론의 소음이 대두되고 있는 실정이다.

그 동안 많은 연구자들에 의해 사이클론의 형상변화에 따른 입자의 포집률이나 압력강하 등이 주로 연구되어 왔으며, 최근 들어 사이클론의 3차원 난류 선회류에 대한 수치해석이 수행되고 있으나, 아직까지 형상변화나 다른 구조적 변화에 따른 소음연구에 대

[†] 책임저자 : 정회원, 삼성전자 가전연구소
E-mail : junhwa.lee@samsung.com
Tel : (031) 218-5091, Fax : (031) 218-5196

* 삼성전자

** 정회원, 삼성전자

이 논문은 2004 추계학술대회 우수발표논문으로 추천되었음.

한 연구결과는 거의 없는 실정이다.

이 연구에서는 청소기에 사용되는 사이클론이 일으키는 소음의 발생 원인을 해석 및 시험을 통하여 고찰하고, 그 소음원의 위치 및 원인을 파악하여 사이클론이 일으키는 순음(peak noise)의 제거 방법을 찾아내고자 한다.

2. 기본 소음시험

2.1 시험방법

이 연구에 사용된 시험방법은 청소기에 부착되어 가동되는 사이클론을 differential pressure gage를 이용하여 차압을 측정하고, 유량계를 이용하여 유량을 측정 한 후, 부향실에서 sound power를 측정하였다.

측정방법은 IEC 60704-1 및 IEC 60704-2-1을 참조하여 semi-hemisphere 형태의 10개 point 측정을 통한 sound pwr.를 계산하였다.

2.2 사이클론 본체 소음 측정

이 연구에 사용된 사이클론은 청소기 본체에 결합

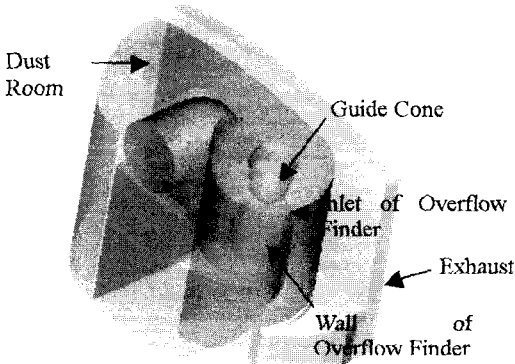
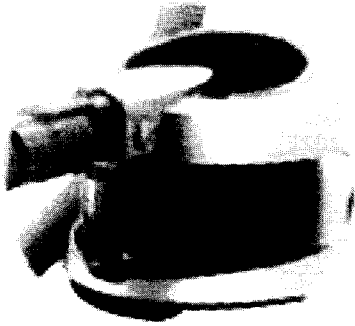


Fig. 1 Used cyclone configuration

하여 먼지를 포집하고 분리하게 하는 형태의 제품으로, Fig. 1에 그 형상을 도시하였다.

청소기의 본체로 흡입된 공기와 먼지, 사이클론의 원심력을 이용하여 먼지를 분리해 내고, 그 먼지를 먼지통으로 저장시키는 구조를 가지고 있다. 사이클론이 장착된 청소기의 전형적인 소음 스펙트럼은 Fig. 2와 같다.

사이클론 작동 전에는 청소기 본체의 모터 회전수에 의한 주파수 성분이 550 Hz에 위치하며, 청소기 팬 임펠러 날개 9개에 의해 유도되는 성분이 5 kHz에 위치한다.

사이클론 작동 후에는 사이클론에 의한 peak 주파수 성분이 1 kHz 대역에, 그 고조파(harmonics) 성분이 2 kHz에 나타나며, 광대역(broadband) 소음 레벨이 증가하여 있음을 알 수 있었다. 특히 흡입구 면적에 비하여 토출 측 면적이 작아졌으므로, 상당한 속도 증가가 유도되고 있음을 단편적으로 파악할 수 있다.

2.3 소음원 규명 예비 시험

소음원을 추적하기 위해서 사이클론 내 외부에 대해 여러 가지 형상의 변화 및 구조를 변경시키며 그 소음의 변화추이를 관찰하여 보았다.

사이클론을 장착한 진공청소기에서 발생하는 소음은 사이클론의 입/출구 형상 및 유로 가이드를 포함한 유로 형상 등에 의해 차이가 존재하나, 이 연구에서는 사이클론 흡입구의 내부 형상변화와 관련한 소음에 초점을 맞추기로 하였다. 흡입구 면적을 조절하는 속도 변화 시험 및 흡입력 변화 시험 그리고 각 형상 부위, 흡입구, 토출구, 먼지투입구, 유로 등의 변화를 통한 다양한 예비시험을 바탕으로 사이클론 소음의 주요 원인은 사이클론 공기 흡입부분의 내부 형상

Measured spectra of A-weighted sound power levels:

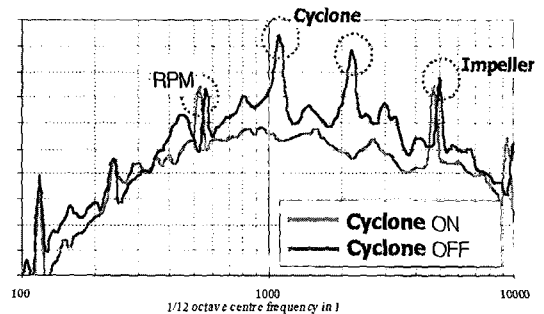


Fig. 2 Spectrum comparison with on/off cyclone

이라는 것을 알 수 있었다. 유속의 저하는 광대역 (broad band)에 해당하는 기저 소음의 크기 변화로 나타나며, 해결이 필요한 순음의 변화는 유속의 변화 보다는 유체 흐름의 불안정성에 의한 것으로 예비시험 결과 판단되었다.

3. 기본 수치해석

3.1 수치해석 방법

사이클론내의 유체흐름은 강선회를 동반하는 3차원 난류 흐름이며 부분적으로 강한 유속을 수반한다. 이런 유체흐름을 해석하기 위하여 예비로 3차원 비압축성 유동장을 해석하였으나, 부분적으로 유속이 100 m/s가 넘어서는 영역이 나타났다.

이런 영역이 중요한 관심영역이어서 압축성 유동장을 해석하였다. 상용 S/W를 사용하였으며, 사용된 격자는 비정렬 격자로 약 250만 cell 정도이고, 계산

시간은 정상해석에 24시간 그리고 비정상 해석에 72 시간이 소요되었다.

3.2 수치해석 결과

사이클론의 해석결과를 Fig.3에 나타내었다. 그림은 Fig.3의 우측 상단에 도식된 바와 같이, 사이클론의 횡단면에서의 속도분포를 나타낸 것으로, 우측이 사이클론 부위이고 좌측이 먼지 저장 공간이 된다. 우측의 contour에서 보이는 바와 같이 바깥쪽으로 유도된 빠른 유체의 흐름이 강하게 회전하면서 가이드 콘 형상을 중심으로 회전하며 하강하고 있으며, 그 크기가 상당히 큼을 알 수 있었다. 가장 빠른 곳에서의 유속이 100 m/s를 넘는 매우 강한 회전흐름이 유도되고 있으며 이를 통해서 원심력을 얻고, 먼지를 분리하는 힘을 발생시키고 있다.

또한 토출구 쪽으로 유도되는 유체의 흐름이 토출구 입구의 상단에서 비대칭적으로 형성되며, 토출구 내부에서도 상당한 회전 흐름을 형성하고 있음을 알 수 있다.

이런 강한 흐름이 비대칭적으로 형성되고 있다는 것은 유체의 불안정성이 크게 존재되고 있는 것으로 예측되며 따라서 비정상 해석을 통하여 그 크기 및 압력변동의 주기 등에 대한 조사가 수반되었다.

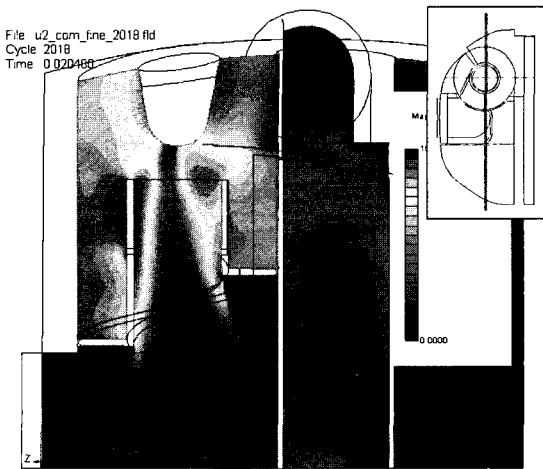


Fig. 3 Velocity contour of cyclone inside

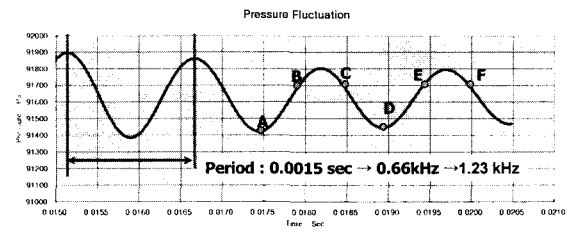


Fig. 5 Wall pressure fluctuation-unsteady

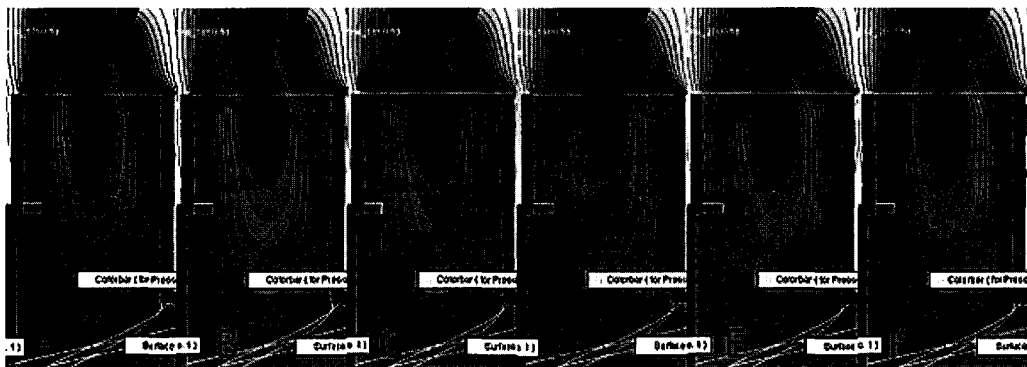


Fig. 4 Pressure contour, overflow finder, unsteady analysis

비정상 해석을 수행하여 그 압력 변동값의 하나의 예를 Fig. 5에 도시하였다. 도시된 바와 같이 1.25 kHz에 해당하는 강한 주기성을 가진 압력 변동이 포착되었다. 그 변동의 원인이 가이드 아래에서 발생된 강한 와류 흐름이 흡입구의 형상 안에서 강하게 회전하면서 크기가 수축과 팽창을 반복하는 것으로 판명되었다. 그 과정을 Fig. 4에 도시하였으며, 시간의 흐름에 따른 압력을 나타내는 Fig. 4에서 보는 바와 같이 중심코어 및 그 주변의 크기가 주기적으로 변화함을 알 수 있다. 그 압력분포가 A와 D가 같으며, 또한 B와 E가 그리고 C와 F가 동일한 압력 분포를 가지고 있음을 알 수 있었다. 이는 주기적인 압력 맥동을 나타내는 것으로 판단된다.

4. 저감형상 해석 및 시험

4.1 저감형상 수치 해석

앞장에서 언급한 바와 같이 원형 흡입구의 내부에서 발생한 와류의 움직임이 순음(peak noise)을 일으키는 것으로 판단되었다. 이를 바탕으로 이에 대한 저감을 위해 원형 흡입구 내부에 splitter를 삽입하여 그 와류의 흐름을 억제하면서 고정시킬 수 있도록 하였다.

Fig. 6에서 보는 바와 같이, 강한 와류의 흐름이 흡입구 안쪽의 splitter에 의해 갈라지면서 와류의 흐름

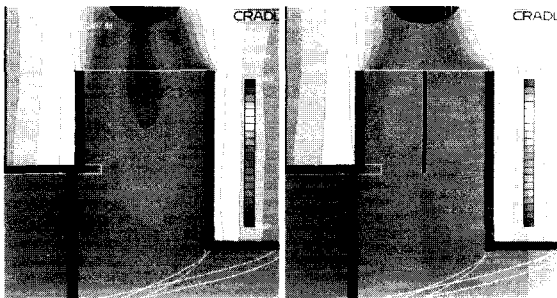


Fig. 6 Pressure comparison of splitter

을 안정적으로 고정시키고 있음을 알 수 있었다. 이 경우 비정상 해석결과에도 압력의 변동이 없었다.

4.2 저감형상 소음시험

앞 절의 수치해석에 사용된 splitter를 사용하여 소음시험을 수행한 결과 Peak음은 15 dBA 이상을 저감하였다. Fig. 7에서 도시된 바와 같이 순음(peak noise)과 함께 광대역 소음(broadband noise)의 일부 성분도 함께 감소되었음을 알 수 있었다.

소음저감을 위한 형상변경 등의 결과가 그 제품의 다른 성능과 관련된 사항을 많이 저감시키게 된다면, 이는 소음저감의 효과가 없어지게 됨으로 함께 검토해야 할 필요가 있다

이 연구에서는 청소기의 성능과 밀접한 관계를 갖는 사이클론의 압력 손실이 주된 검토사항이었다. 압력손실은 곧 흡입력과 직결되는 사항으로, 소음저감 효과가 크게 되면서, 사이클론을 통과하는 유동의 압력손실을 최소화하는 구조를 고안하여 다양한 형태의 splitter에 대한 적용시험을 수행하였다.

Fig. 7은 소음 저감을 위하여 제안된 splitter의 대표적인 형상 및 저감량(전음압, Overall SPL) 그리고 압력손실의 크기를 도식화한 그림이다.

그림에서의 압력손실과 소음은 splitter가 없는 경우를 각각 100 %와 0 dBA로 하여 기준으로 사용 비교하였다.

Splitter의 형상이 일자형이나 십자형일 경우 소음

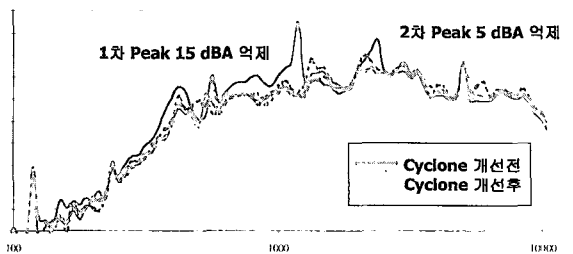


Fig. 7 Noise reduction effects of splitter

형상						
압력손실 (%)	100 %	106 %	108 %	113 %	93 %	90 %
전음압(dBA)	0	-2.7 dBA	-3.3 dBA	-3.3 dBA	-2.0 dBA	-2.8 dBA

Fig. 8 Various configuration of splitter

저감은 탁월하나, 압력손실을 수반함으로 그 적용성이 반감된다. 이에 더한 개선사항으로 압력손실을 줄이는 형상을 고안하게 되었고, 그 결과 변형 십자형태의 날개 형상이 압력손실 저감에도 효과적이었다. 따라서 이의 변형 및 최적화를 진행하기 위한 10여가지의 형상 시험 결과 최종적으로 회오리 날개 형상이 채택되었다.

제작상으로도 편리하게 생산할 수 있는 회오리 형상은 peak 소음 15 dBA 저감 및 최종 전음압 2.8 dBA 저감효과를 보이면서, 압력 손실도 약 10% 개선시키는 효과를 보인다.

5. 결 론

이 연구에서는 전기청소기에 사용되는 사이클론의 소음을 시험 해석 하였다. 최근 들어 청소기의 주요 소음원으로 등장하게 되는 사이클론의 소음을 각종 형상의 시험 및 해석을 통한 원인 추적을 통하여 그 위치 및 발생원인을 찾았고 이를 저감 시킬 수 있는 형상 대안을 구하였다. 해석된 결과를 바탕으로 흡입구 내부의 형상을 변경하여 소음뿐만 아니라 압력손

실의 저감에도 효과가 있는 구조적 splitter 형상을 고안해 내었으며, 그 결과 압력손실 10% 개선 및 순음(peak noise) 15 dBA 저감을 나타내는 형상을 개발하여 적용할 수 있었다.

참 고 문 헌

- (1) Lawrence E. Kinsler, Austin R. Frey, Alan B. Coppens, James V. Sanders, «Fundamentals of Acoustics». (John Wiley & Sons, 1982)
- (2) Yong Jun Cho, "Study of Cyclone Performance on the Variation of Cross Section Shape", J. of Korean Climate Environment Control, Vol. 1, Number 10, (2000).
- (3) 전완호, 유기완, 이덕주, 1997, "An Analysis of Flow and Noise Source for Vacuum Cleaner Centrifugal Fan", 한국소음진동공학회논문집, 제 7 권, 제 1 호, pp. 99~106.
- (4) 전완호, 정기훈, 이덕주, 1997, "웬의 성능, 유동, 소음 해석 프로그램 개발" 한국소음진동공학회 추계학술대회논문집, pp. 693~697.