

헤어드라이기의 소음특성해석

°우재학*, 박정석*, 박득용**, 오상경*

(Analysis of Noise Characteristics of a Hair Dryer)

(J.H.Woo, J.S.Park, D.Y.Park, S.K.Oh)

1. 서론

헤어드라이기, 자동차용 진공청소기, 면도기, 주서/믹서기등과 같은 소형 가전제품은 사용시, 제품과 소비자사이의 거리가 짧아 진동/소음에 관한 인식이 대형 가전제품에 비해 크다. 과거에는 가전제품의 경우, 기본성능및 각 회사만이 갖고 있는 독자적인 성능과 디자인을 최우선적으로 고려하여 설계하였다. 소음/진동에 관한 문제는 제품이 제작된 뒤 후에 필요에 따라 고려되었기 때문에 주어진 조건하에서 저진동/저소음을 위한 대책에는 한계가 있었다. 근래에는 진동/소음에 대한 관심이 증가하면서 제품의 설계단계부터 저진동/저소음 제품을 설계하기 위한 노력이 점차로 증가하고 있다.

본 연구는 이러한 추세의 한 예로서 헤어드라이기에 대해 결정된 디자인 및 성능이 크게 변경되지 않는 범위내에서 진동/소음이 적은 구조를 설계하는데 목적이 있다. 먼저, 헤어드라이기의 소음원 및 특성을 간단히 규명한 뒤, 벨마우스(bellmouth) 이용등과 같이 일반적으로 잘 알려진 소음저감법을 소음원에 대해 적용하였다. 헤어드라이기의 경우, 소음원이 몸체에 삽입되는 순간 특정 주파수대역에서 소음이 증가하는 현상이 발생하는데, 헤어드라이기의 몸체에 대한 음향학적 특성을 수치해석 및 실험을 통해 파악함으로써 이에 대한 원인을 규명하였다. 이를 바탕으로 몇가지의 변경된 구조에 대해 소음에 관련된 현상을 고찰해 봄으로써 저소음을 위한 헤어드라이기의 설계방법을 제안하였다

2. 본론

구조및 소음원 대책

본 연구에서 사용된 헤어드라이기의 개략적인

- * 삼성전자 기술총괄 진동소음팀, 정희원
- ** 삼성전자 기술총괄 진동소음팀

구조는 그림1과 같다.

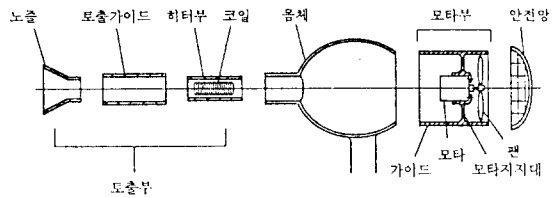


그림1 헤어드라이기의 분해도

헤어드라이기를 작동시키는 순간 코일과 모터에는 전원이 동시에 인가된다. 몸체에 삽입되는 모터부는 앞쪽에 형성되어 있는 히터부로 바람을 밀어내어 히터를 통과한 온풍이 토출가이드를 거쳐 노즐로 나오게 하는 역할을 한다. 최강모드로 작동될 때 모터의 회전수는 247Hz정도이며, 이하의 실험 결과는 최강모드에 해당하는 회전수로 고정된 상태에서 수행한 것이다.

헤어드라이기의 소음 측정방법은 그림2와 같이 10mm두께의 스펀지위에 노즐을 제거한 헤어드라이기를 놓고 상면과 손잡이 부분(정면)으로부터 1m 떨어진 거리에서 소음을 측정한다 (한국공업규격 KSC9311).

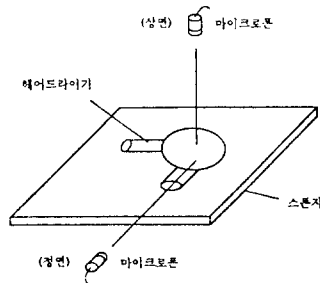


그림2 소음레벨 측정방법

본 연구에서는 마이크로폰 신호를 주파수 분석기(HP35665A)로 보내어 소음특성을 분석하였으며 측정된 신호에 대해서는 A청감 보정곡선으로 보정하였다. 헤어드라이기의 주된 소음원과 소음전파경로를 규명하기 위해 모타부(모타+팬+모타지지대+가이드)자체의 소음과 토출가이드 및 히터부가 조립된 몸체에 모타부를 삽입한 경우의 소음을 측정하였는데 이를 그림3에 비교하였다.

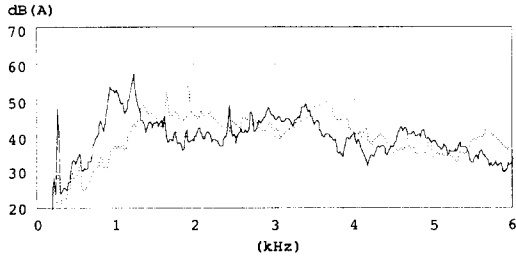


그림3 모타부를 몸체에 삽입하기 전,후의 소음스펙트럼 (상면)
[··· 삽입전, — 삽입후]

모타부자체의 소음원으로는 모타에서 발생하는 소음, 팬에 의한 유체소음, 모타와 팬에 의해 발생된 힘이 가이드를 가진함으로써 발생하는 소음등을 고려할 수가 있다. 모타부가 몸체에 삽입되면 1.5kHz이상의 고주파성분은 감소하는 반면, 600Hz - 1.3kHz 대역의 소음은 증가하는데, 이러한 원인으로서는 몸체내부를 통과하는 유체와 몸체사이에서 발생하는 난류의 증가, 또는 모타부에서 발생하는 소음이나 진동이 몸체의 특성때문에 특정 주파수 대역에서 증폭되어 나타나는 현상등 여러가지를 고려할 수 있다. 한편, 모타부를 몸체에 삽입하면 소음레벨에 결정적인 영향을 주는 저주파 대역의 소음이 새롭게 발생하기 때문에 모타부를 삽입하기 전,후의 소음레벨은 거의 변화가 없게 된다. 따라서, 모타부에서 발생하는 소음의 비중이 크다고 보고 이를 위해 먼저 모타부의 소음저감을 수행하였다.

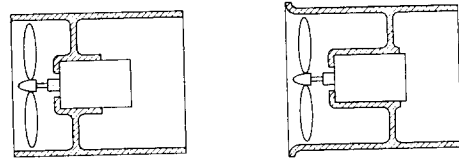
모타부의 소음저감

모타부를 구성하고 있는 주요 요소는 그림1에 나타난 바와 같이 모타, 팬, 모타지지대, 가이드이다. 모타부에서 발생하는 소음을 저감하기 위해서는 정음모타 및 정음팬 설계등 여러가지 방법이 있겠으나, 본 연구에서는 모타 및 팬은 기존의 것을 사용한다는 제한조건을 기초로 모타부의 소음

저감을 시도하였다. 팬이 덕트안에 있을 때, 사용되는 일반적인 소음저감방법을 참고로 하여 다음과 같은 세가지 경우를 고려하였다[1].

- (1) 가이드의 흡입구에서 발생하는 난류현상 감소를 위한 벨마우스의 적용
- (2) 가이드 내부로의 팬이동
- (3) 팬과 모타지지대 사이에서 발생하는 난류현상의 저감을 위한 모타지지대의 이동

모타지지대는 모타를 가이드에 연결함으로써 모타의 위치를 고정시키는 역할을 하는데, (3)의 경우에는 팬에서 가능한 먼 위치에 모타지지대를 설치하였다. (2)의 경우에는 가이드내에서 팬을 이동시키면서 소음레벨을 측정하는 예비실험을 통해 팬의 적합한 위치를 설정하였다. 그림4는 세가지 경우중 한 예로서 모타지지대의 위치를 변경한 상태에서 벨마우스를 적용한 구조를 나타내며, 그림5는 기존상태와 모타지지대를 후퇴시킨 경우의 소음스펙트럼을 서로 비교한 것이다.



(a) 변경전 (b) 변경후
그림4 모타부의 형상

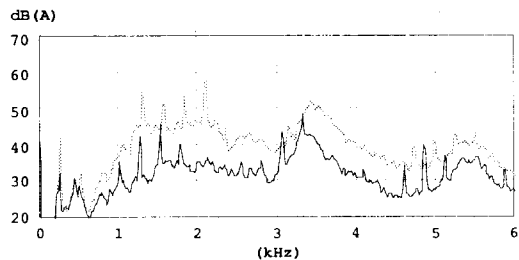


그림5 모타부 변경전,후의 소음스펙트럼(상면)
[··· 기존 모타부, — 모타지지대 변경]

모타부를 변경하는 경우, 발생하는 소음 저감효과는 대체로 모든 주파수에 걸쳐 일정한 크기로 소음이 감소되는 것으로 보아 난류소음의 감소로 인한 것이라고 판단된다. 다른 두가지의 경우에 있

어서도 동일한 현상이 발생함을 알 수가 있었는데, 표1은 앞에서 언급한 세가지 경우의 모타부에 대해 측정된 소음레벨을 각각 비교한 것이다.

표1 모타부의 변경에 따른 소음레벨 비교

	저감량(dB)
기존 모타부(벨마우스 적용)	6
팬 이동 (벨마우스 적용)	7
모타지지대 이동(벨마우스 적용)	8

표1로부터 알 수 있듯이 벨마우스의 적용, 모타지지대 및 팬 위치의 변경등으로써 모타부 자체의 소음을 6-8dB정도 감소시킬수 있었다.

개선된 모타부에 대해 어느정도의 소음 저감효과가 발생하는지를 파악하기 위하여 모타부를 몸체에 삽입한 후 소음레벨을 측정하여 보았다. 그림6은 개선된 모타부(모타지지대 위치변경 및 벨마우스의 적용)를 몸체에 삽입하기 전,후의 소음스펙트럼을 보여주고 있다.

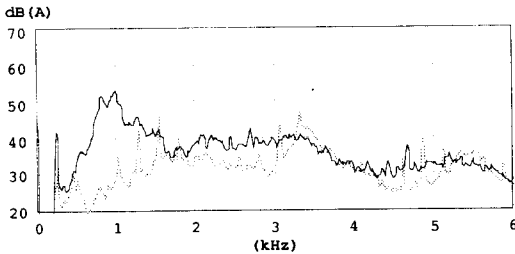


그림6 개선된 모타부를 몸체에 삽입하기 전,후의 스펙트럼(상면)
[... 삽입전, — 삽입후]

600Hz-1.4kHz의 주파수 대역에서 소음레벨이 상당히 증가하고 있음을 알 수 있는데, 이와 같은 현상은 앞의 세가지 경우에 대해 거의 동일하게 나타난다. 즉, 모타부의 소음레벨을 6-8dB 감소시켜도 모타부를 몸체에 삽입하는 순간 앞에서 서술한 현상으로 인하여 소음레벨의 저감효과는 기존 대비 1-2dB로 줄어드는데, 이에 대한 원인으로서는 모타부로부터 유기된 유체와 몸체사이에서 발생하는 난류소음, 또는 모타부를 하나의 소음원으로 간주하였을때 몸체의 음향특성으로 인하여 모타부의 소음이 특정주파수 대역에서 증폭된 것등을 들 수 있다. 본 연구에서는 후자의 현상에 대해 실험 및 수치해석을 통하여 규명하여 보았다.

몸체의 음향특성

몸체내부의 음향모드와 외부의 음향특성을 파악하기 위하여 해석적인 방법으로서 내부, 외부문제 를 함께 고려할 수 있는 IBEM (indirect boundary element method)를 사용하였는데[2-3], 문제를 단순화하기 위해 다음과 같은 가정을 하였다.

- (1) 고려된 형상은 몸체, 모타부의 가이드 및 토출가이드이다.
- (2) 경계층의 두께, 몸체내부의 유동 및 온도구배는 무시하며 온도는 20°C ($\rho=1.21kg/m^3, c=343 m/sec$)이다.
- (3) 경계는 강체로 간주한다.

그림7은 단순화된 헤어드라이기의 모형을 나타내는데 130elements와 156nodes를 사용하였다.

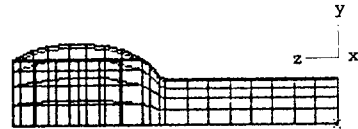


그림7 헤어드라이기의 모형 (모형1)

그림8은 모형1의 중앙에 백색잡음(white noise)인 점음원(point source)이 위치해 있을때 모형의 외부에 해당하는 (0,0,-1)m 위치에서 수치해석으로 구한 음압레벨을 나타낸 것이다.

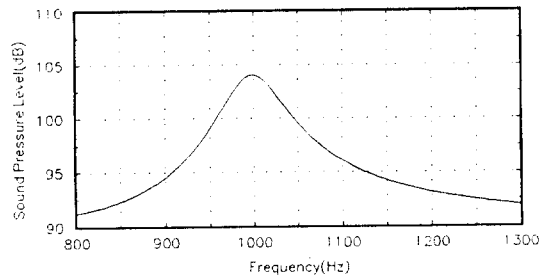


그림8 (0,0,-1)m에서의 음압레벨

이로부터 첫번째 공진주파수는 996Hz 부근에서 발생함을 알 수 있는데, 이는 그림6의 증폭된 주파수 대역과 일치한다. 다음은, 공진주파수인 996Hz에서 모형내부의 음압분포를 파악하기 위해 역으로 (0,0,-1)m 위치에 점음원을 놓고 수치적으로 내부 음압을 구하였다. 또한, 모형의 유효성을 판단하

기 위하여 같은 위치에 스피커를 위치한 후 모형 내부의 음압분포를 실험적으로 구함으로써 해석적으로 구한 결과와 서로 비교하여 보았다. 실험의 경우는 헤어드라이기의 크기가 작기 때문에 probe 마이크로폰(B&K type4182)을 사용하여 내부의 음압을 측정하였다. 그림9는 z방향, 즉 헤어드라이기의 길이방향에 대한 모형내부의 음압분포를 서로 비교한 것이다. 여기서, 가로축의 0는 토출가이드의 끝단에 해당한다(그림7참조).

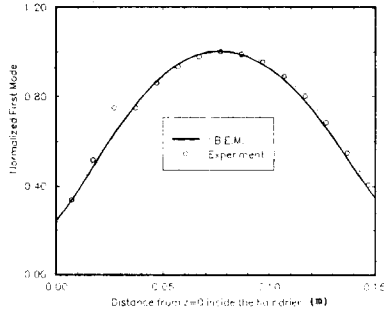


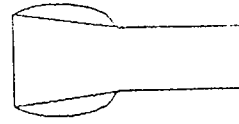
그림9 첫번째 모드의 정규음압분포 (모형1)

실험에서는 헤어드라이기의 공진주파수인 996Hz 주파수 성분만을 스피커에 입력한 후, 헤어드라이기의 내부에서 probe 마이크로폰을 길이방향으로 이동시키면서 음압을 측정하여 각 위치에서의 음압을 최대음압으로 나누어 준 것이다. 수치해석의 경우도 최대음압과 각 위치에서의 음압비를 나타낸 것이다. 일부분을 제외하고는 실험과 수치해석이 잘 일치하고 있는데, $z=30\text{mm}$ 부근에서 발생하는 불일치의 원인으로는 본 모형에서 고려하지 않은 $z=42\text{mm}$ 위치에서의 단면적 변화로 인한 반사 효과 때문이라 사료된다. 이 결과로부터 모터부가 몸체에 삽입되면서 증폭되는 1kHz부근의 소음은 몸체의 음향특성으로 인한 것으로 판단되며, 수치해석시 고려한 헤어드라이기의 모형은 실제와 어느정도 일치함을 알 수 있다.

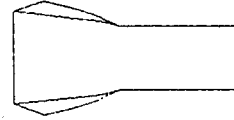
저소음화를 위한 모형변경

사용된 모형을 기초로 하여 몇가지의 변경된 모형에 대해 소음특성을 파악하여 보았다. 본 연구에서는 기존의 외부형상(z방향 길이는 고정)을 크게 변경하지 않는다는 조건하에 토출구로부터의 1m위치와 헤어드라이기의 사용시 소비자의 귀가 존재하는 위치, 대략 0.3m에서의 소음레벨을 각각 비교하여 보았다. 그림10은 변경된 2가지 모형의

외관을 보여주고 있다.



(a) 모형2



(b) 모형3

그림10 변경된 모형의 외관

모형2는 135elements와 162nodes로, 모형3은 160 elements와 190nodes로 모형화하였다. 표2는 각각의 모형에 대해 IBEM을 적용하여 구한 공진주파수를 비교한 것이다.

표2 각 모형의 공진주파수 비교

	음향 공진주파수(Hz)
모형1	996
모형2	1060
모형3	1050

모형2및 모형3은 모형1에 비해 공진주파수가 증가함을 알 수 있다. 소음원이 모형내부에 존재할 경우 모형내부 및 외부의 음장분포를 각각의 모형에 대해 살펴보기 위하여 실제로 모타가 존재하는 위치, 즉 $z=105-145\text{mm}$ 에 소음원을 monopole 및 dipole로 가정하여 분포시켰다. 소음원으로 가정한 모타부에서는 주로 팬에 의해서 소음이 발생하므로 팬을 어떻게 모형화하느냐에 따라 내부 및 외부에서의 음장분포는 다르게 나타날 수 있다. 일반적으로 팬날개의 속도에 따라 팬을 표현할 수 있는 소음원의 종류 및 분포를 결정하는데[4], 본 연구에서는 소음원을 monopole 및 dipole을 두가지 경우에 대해 z축방향으로 분포시켜 해석하여 보았다. 그림11은 한 예로서 소음원이 monopole로 분포되어 있다고 가정한 경우의 모형1에 대한 등압곡선이다. 이 그림으로부터 음("-")의 z방향으로 방사되는 소음이 다른 방향에 대해 상대적으로 작은 것을 알 수 있다. 이방향은 헤어드라이기의

출구방향으로서 사람의 귀가 존재하므로 관심영역이 된다. 소음원을 dipole로 가정한 경우에도 음압분포의 경향은 유사하게 나타난다.

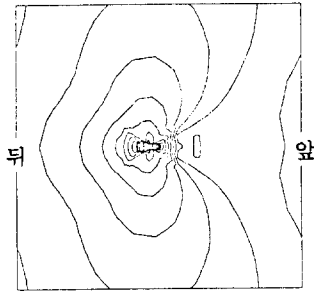


그림11 monopole분포에 대한 모형1의 등압곡선

그림12(a)는 소음원의 분포를 monopole로 가정한 경우, 헤어드라이기의 소음 측정거리인 1m에서 공간주파수에 대응하는 음압분포도를 각각의 모형에 대해 나타낸 것이다. 그림12(b)는 헤어드라이기와 소비자의 귀사이를 감안한 거리, 즉 0.3m에서 구한 음압분포도를 나타낸 것이다. 또한, 그림13은 소음원의 분포를 dipole로 가정한 경우에 대해 각각의 음압분포도를 나타낸다. 이로부터 "z"방향에서는 모형의 형상에 따라 소음의 방향성이 크게 변함을 알 수 있는데, 이러한 특성을 이용한다면 소비자의 귀 위치에서 음압레벨이 작게 되는 헤어드라이기의 구조설계가 가능함을 알 수 있다.

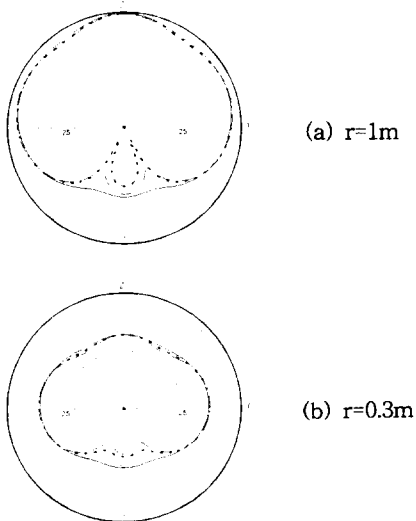


그림12 소음원을 monopole로 가정한 경우
(— 모형1, --- 모형2, --- 모형3)

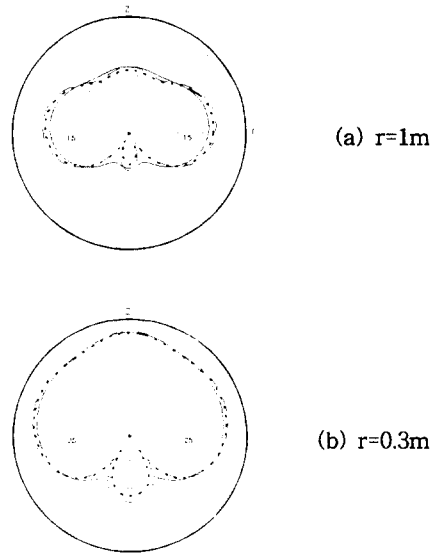


그림13 소음원을 dipole로 가정한 경우
(— 모형1, --- 모형2, --- 모형3)

3. 결론

헤어드라이기의 소음특성을 조사한 뒤, 소음원이라 할 수 있는 모터부에 대해 벨마우스등의 적용등을 통하여 소음저감을 시도하였다. 그러나, 모터부가 몸체에 삽입되는 순간 몸체의 음향모드로 인하여 1kHz부근의 소음이 크게 증가함을 알 수 있었다. 이를 실험및 수치해석 방법을 통하여 확인하였으며 사용된 모형을 약간 변경시킨 모형에 대해 공간주파수에서의 음압분포를 고찰해 보았다. 이로부터 IBEM과 같이 내부 및 외부문제를 함께 풀 수 있는 해석적 방법을 적절히 사용함으로써 소비자의 귀방향으로 음압의 방사가 적게 되는 헤어드라이기의 구조를 처음부터 설계가능함을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Mark E.Schaffer, A Practical Guide to Noise and Vibration Control for HVAC Systems, Am. Soc. of HRACE, Atlanta 1991.
2. A.F.Seybert, C.Y.Cheng and T.W.Wu, J. Acoust. Soc. Am. Vol.88, pp.1612-1618 1990.
3. Sysnoise User's Manual Revision 5.0
4. R.G. White, J.G. Walker, Noise And Vibration, Ellis Horwood Limited, New York, 1982.