

Reverse Engineering을 이용한 석션 하우징의 음장해석

양정직*, 이동주⁺

(논문접수일 2011. 01. 10, 수정일 2011. 03. 10, 심사완료일 2011. 04. 20)

A Study on the Acoustic-Field Analysis of the Suction Housing using the Reverse Engineering

Jeong-Jik Yang*, Dong-Ju Lee⁺

Abstract

We tried to analyze sound field of the interior of housing installed with an impeller using the Boundary Element Method (BEM) with the Kirchhoff-Helmholtz integral equation. In order to increase the accuracy of our analysis, reverse engineering technology, which has been developed in recent years. We measured and treated geometrical data with 3D scanning of the practical research object. After modeling by the reverse engineering, we analyzed variation of the BPF as adding vibration frequency and variation of the sound field of the interior of housing by changing the number of impeller blades. We also tried an analysis of free degree variation. Then, we proposed the analysis accuracy and noise reducing method by analysis result.

Key Words : Boundary Element Method(경계요소법), Reverse engineering(역 설계), Frequency Response Function(주파수응답함수), Blade Passage Frequency(날개 통과 주파수), Computation Fluid Dynamics(전산유체역학)

1. 서론

석션은 치과 진료 시 발생하는 다량의 이물질과 분비물을 구강에서 흡입하여 환자의 기도유지를 위한 장치로, 치과진료에 있어서 없어서는 안 될 필수 장치이다. 이러한 석션은 작동 중 70dB(A) 이상, 경우에 따라 80dB(A) 이상의 소음을 유발하고, 진료시간 내내 작동되기 때문에 의사에게는 소음으로 인한 스트레스를, 진료 받는 환자에게는 공포와 불안감을 조성하는 등 상당한 불편을 초래하고 있어서 최근 소비자인 치과 의사의 저소음 석션에 대한 요구가 급격히 증가하고 있다.

석션과 같이 임펠러에 의한 공력 소음의 경우 1930년대에

Madison⁽¹⁾과 Deming⁽²⁾에 의한 연구 이래로, 90년대 들어서 컴퓨터의 발전에 힘입어 전산유체역학(Computation Fluid Dynamics)를 이용한 소음예측 연구가 진행 되어왔다. 국내에서도 원심팬, 송풍기 등의 소음저감에 대한 연구가 진행되어지고 있으나, 국외 연구에 비해 역사가 짧고 전산유체역학을 이용한 소음예측과 유동해석에 대한 연구가 대부분인 실정이다.

따라서 실제 소음을 예측하고 소음원에서 방사되는 소음을 평가하여 소음저감의 관점의 연구가 진행 되어야 할 것이다. 이에 경계요소법(Boundary Element Method)에 의한 음향해석이 추가되어야 된다⁽³⁻⁵⁾.

또한 석션과 같은 임펠러의 해석적 연구의 중요한 것은 해석

* 자동차부품연구원

⁺ 교신저자, 충남대학교 기계공학부 (dongju@cnu.ac.kr)

주소: 대전광역시 유성구 대학로 99

시 사용되는 해석 모델에 있다. 해석 시 결과의 정확도는 해석 모델의 따라 좌우된다. 하지만 임펠러 연구 중 많은 사례에서 임펠러의 복잡성으로 인해 단순 모델링을 통해 경향만을 분석한다. 따라서 보다 정교한 해석 모델링의 필요 또한 임펠러 소음 연구에 중요한 부분이다. 근래 발전되고 있는 역 설계(Reverse engineering) 분야는 의료 산업, 제조업, 건설 및 토목 등 전 분야에 걸쳐서 사용 되는데, 역 설계를 이용한 해석 대상의 모델링은 실물과 정확히 일치하는 해석 모델을 만들어 보다 정확한 해석을 할 수 있게 한다^(6~7).

역 설계 와 경계요소법에 의한 음향해석을 접목시킨 연구는 임펠러 회전에 의한 소음을 저감시키기에 적합한 연구이며, 연구되어지지 않은 새로이 개척할 연구 분야이다.

따라서 역 설계 와 경계요소법을 이용한 음향 해석 연구는 석션 소음원에 대한 소음 저감 대책 연구 분야에 선구적 역할과 나아가서 국내에 산업기반이 미흡한 의료기 산업에 활력을 실어 국내 처과 의료기기 업체가 국내외적으로 시장을 선도해 나갈 수 있는 원동력이 될 수 있는 중요한 역할을 한다.

본 연구에서는 석션의 소음저감을 위해 임펠러를 포함한 석션 하우징의 음향해석을 수행한다. 우선, 석션의 정상상태에 이를 때까지 작동시키고 정상상태에 이르게 된 후 마이크론을 이용하여 소음의 음압레벨을 측정하여 가진 주파수인 날개 통과주파수(Blade Passage Frequency)를 확인한다.

하우징의 음향해석을 위하여 역 설계를 이용한 임펠러 및 하우징의 3차원 모델링을 실시한다. 완성된 모델을 대상으로 경계요소법을 사용하여 하우징의 내부 음향해석을 수행하고, 이를 음압레벨 측정 시 나타나 날개 통과주파수와 비교하여 공명여부를 확인한다. 특히 가진 주파수가 변화함에 따라 내부 음향해석을 실시하여 소음저감 대책을 제안한다. 또한, 자유도 수 변화에 따른 해석시간 절감에 대한 연구를 수행한다.

2. 석션의 소음도 평가

본 실험은 가동 중(정상상태)에 있는 석션의 전방, 1m × 1m 위치에서 마이크론을 이용하여 음압레벨 즉, SPL을 측정하여 소음도를 평가하였다. 마이크론은 B&K의 Type 4189 모델을 사용하였고, FFT(Fast Fourier Transform) analyzer는 B&K의 3560B 모델을 사용하였다. 실험장치 및 측정방법은 Fig. 1에 나타내었다.

10kHz와 5kHz를 각각 최대주파수로 시계열의 데이터를 FFT 해석을 이용하여 주파수 데이터로 변환하여 출력하였다.

Fig. 2는 석션의 전방 1m × 1m 위치에서 10kHz까지의 주파수 영역에 대한 음압레벨(A 가중치)을 나타낸 것이다.

석션과 같이 임펠러가 회전하는 기계 시스템은 날개가 공간상의 고정점을 지날 때, 날개와 하우징 사이의 상호 작용에 의한 공기력의 주기적 변동으로 발생하는 이산 주파수 소음

(discrete frequency noise)과 날개에서의 난류 경계층에서 발생하는 광대역 소음(broadband noise)이 있다.

이산 주파수 소음은 간섭 소음이라고도 하며, 속도 결손의 어떤 불균일한 유입풍과 회전하는 날개가 간섭하여 발생하는 소음이다. 즉, 회전하는 날개에 고정된 압력장이 회전하는데에서 기인한다. 이는 일반적으로 날개수와 회전수에 관한 날개 통과주파수로 나타난다. 날개 통과주파수는 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$BPF = (V_r \times N) / 60 \tag{1}$$

여기서, V_r 은 회전수(rpm), N 은 날개수이다.

제원상 석션의 사용된 모터 회전수는 3360rpm(56Hz)으로 나타나있다. 이를 바탕으로 석션의 날개 통과주파수를 계산하면 2921Hz가 된다. 하지만, 실제로 모터의 제원은 어느 정도 오차를 포함하고 있다.

Fig. 2에서 보듯이 실제 작동 중 석션의 날개 통과주파수는 3000Hz로 모터가 57.6Hz로 구동됨을 알 수 있다. 모터의 기본 회전 주파수인 57.6Hz와 배음 성분, 그리고 날개 통과주파수(3000Hz)와 배음 성분(6000Hz)에서 이산 주파수 소음이 확인된다. 또한, 3000Hz 미만에서 3000Hz이상의 영역보다 기저가 높게 나온 것을 확인할 수 있다. 이는 앞서 말한 광대역 소음을 의미한다.

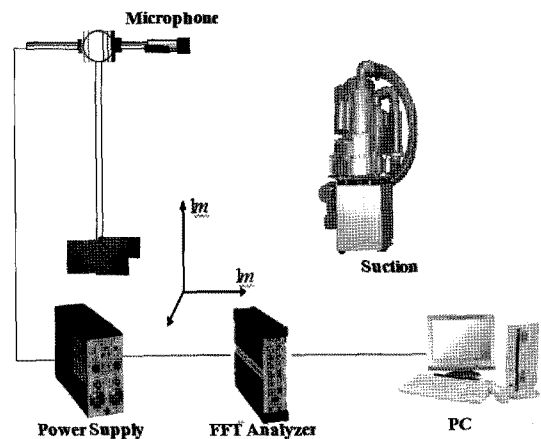


Fig. 1 Measurement of sound pressure of the suction

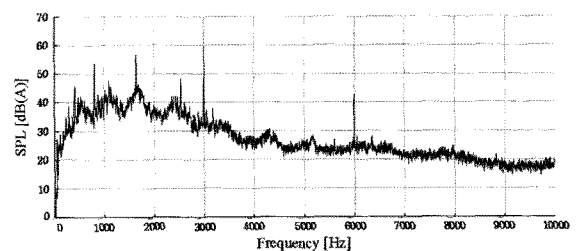


Fig. 2 Sound pressure level at 1m front of suction

본 연구에서는 임펠러의 주된 소음인 날개통과주파수인 3000Hz와 하우징의 음향모드가 겹쳐 공명현상이 일어나는 것을 방지하기 위하여 가진 주파수 변화에 따른 음향모드를 경계 요소법을 이용하여 해석했다. 또, 해석 시 실제 석선의 형상과 동일한 CAD모델을 위하여 역 설계를 이용하여 석선의 형상을 CAD 데이터화 하였다.

3. 역 설계(Reverse Engineering)을 이용한 석선 하우징의 데이터화

본 장에서는 석선 하우징 내부의 음장해석을 정밀하게 하기 위하여 역 설계를 실시하였다. 석선의 형상 데이터를 측정하기 위한 장비로는 Surveyor DS-2030을 사용하였다. Surveyor DS-2030은 접촉식과 비접촉식을 모두 사용할 수 있는 듀얼 시스템이며, 본 연구에서는 비접촉식 3차원 레이저 스캐너를 이용하였다. Fig. 3은 Surveyor DS-2030 측정 장비 사진이다.

석선은 소음원인 임펠러를 포함한 하우징 부분만을 분해하여 측정하였다. 석선의 하우징 부는 진공도를 높이기 위하여 상단, 하단 2단으로 구성되어 있고, 상단과 하단에는 각각 52개의 날개를 가지는 동일한 형상의 임펠러가 장착되어 있다. 임펠러가 회전하면서 상단의 입구를 통하여 공기가 빨려 들어 오고 상단에서 회전 후 하단으로 내려가 임펠러의 회전에 따라 출구로 배출된다. Fig. 4는 석선의 사진이며, Fig. 4(a)의 점선

부위가 임펠러가 장착된 하우징 부위이다.

3차원 스캔을 위해 하우징 부위만을 분해한다. 하우징의 분해된 모습은 Fig. 5와 같다. 하우징의 각 분해 단품은 Surveyor DS-2030 레이저 스캔을 사용하여 표면의 정보를 CCD Array로 받아들여 제품의 전체 형상 데이터 얻는다.

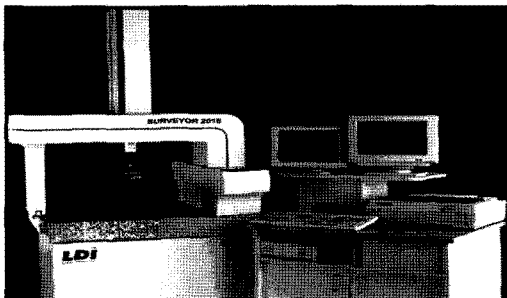
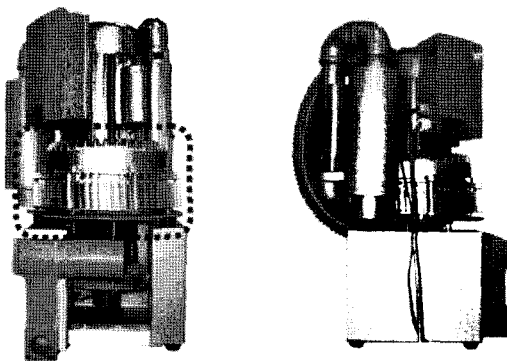
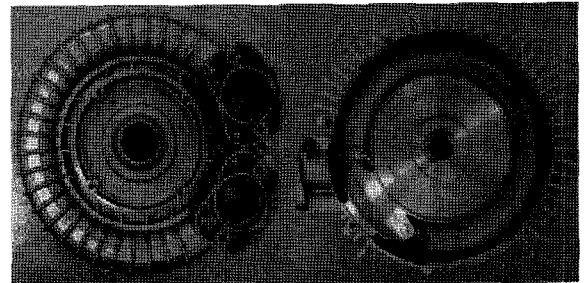


Fig. 3 Measurement equipment (Surveyor DS-2030)

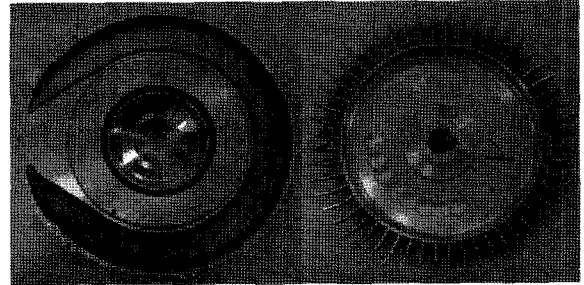


(a) Front side (b) Left side

Fig. 4 Suction



(a) The upper cover of housing (b) The middle cover of housing

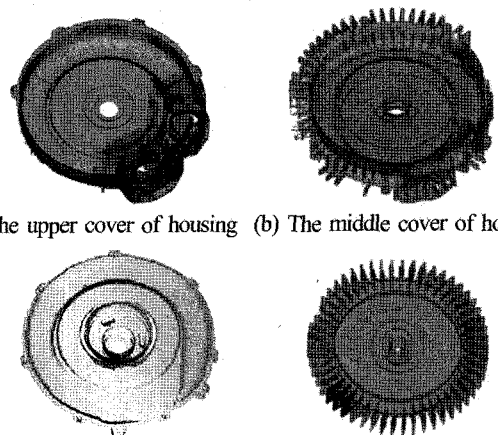


(c) The lower cover of housing (d) The impeller of suction

Fig. 5 Components in suction housing



Fig. 6 Scanning process of components



(a) The upper cover of housing (b) The middle cover of housing

(c) The lower cover of housing (d) The impeller of suction

Fig. 7 Point clouds of suction component

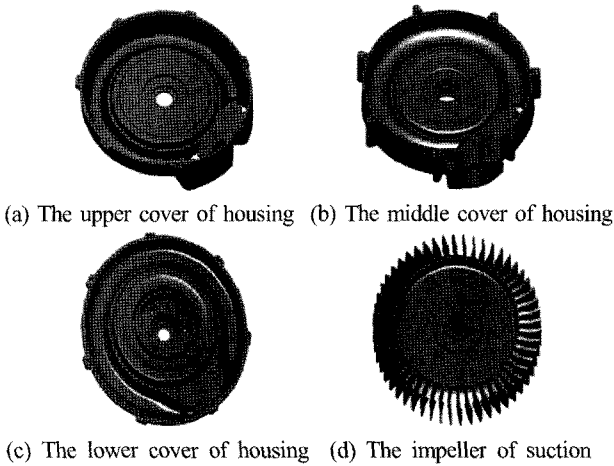


Fig. 8 3D model of suction component

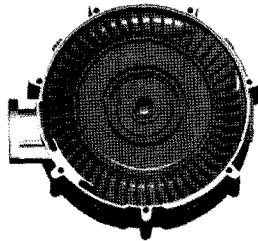


Fig. 9 Assembly process of 3D modeling

Fig. 6은 3차원 스캐너를 이용하여 각 단품별 스캔 과정이다. 스캔 과정에서 불러들여진 점 군(Point clouds)은 Fig. 7과 같이 무수히 많은 점 데이터로 불러들여진다. 측정된 점 군은 소프트웨어(Image ware program)를 사용하여 선 데이터로 가공되고, 다시 면 데이터로 가공되는 과정을 거쳐 Fig. 8과 같이 단품 모델링이 완성된다. 완성된 단품 모델링 데이터는 조립 작업을 거쳐 석션 하우징과 동일한 형태로 전체 3D 모델링이 완성된다. Fig. 9는 조립 작업 시 하우징 커버 안에 임펠러를 장착하는 과정이다.

4. 경계요소법(Boundary Element Method)을 이용한 석션 하우징의 음향해석

4.1 하우징의 음향해석

하우징의 음향해석에는 경계요소법을 사용하였다. 주로 음향장 해석에 많이 사용되는 경계요소법은 표면적분만 필요로 하기 때문에 경계에만 요소를 필요로 하는 수치 기법으로, 2차원 요소면 가능하고 음향장의 경우 먼 거리의 반사조건이 필요 없다는 장점이 있다.

경계 요소법을 사용하여 내부 공간의 대한 음향해석을 실시하였다. 내부 공간의 주파수응답함수(Frequency Response

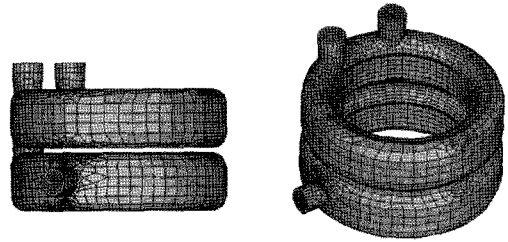


Fig. 10 Mesh model of housing for the acoustic analysis

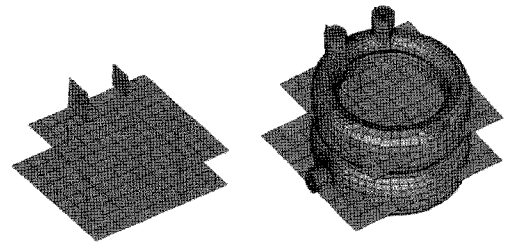


Fig. 11 Selective field point

Function)를 구하여 내부 음장의 기본 특성을 알아보았다.

4.1.1 하우징의 해석 모델

역 설계를 이용해 얻은 모델링에서 내부 공간 형상만을 취하여 해석 모델로 사용하였다. 이때 모델링은 경계조건에 대한 정보만을 가지고 있다. Fig. 10은 해석을 위해 사각 입자(Quad mesh)로 나누었으며, 5990개의 격자 점(node)와 6022개의 요소(element)로 이루어져있다.

경계요소법 해석은 경계조건만을 이용하여 해석을 하므로, 내부 공간상의 측정점(Field point)을 지정해주어야 한다. 원형 하우징의 특징을 고려하여 하우징 상단과 하단의 각각 중앙을 가로지르는 평면을 측정점으로 선정하였으며 입구단과 하우징의 상단과 하단을 연결하는 관 또한 세로로 놓은 평면을 사용하여 측정점으로 선정하였다. Fig. 11은 측정점의 형상과 측정점이 하우징에 적용되었을 때의 형상을 도시한 것이다.

4.1.2 내부 음향해석

모델링과 측정점의 선정 작업이 끝나고 나면 해석 단계에 이른다. 본 해석은 하우징 내부 공간상의 고유특성인 주파수 응답함수를 알아보았다. 만약 하우징 내부의 공명을 일으키는 주파수 대역에 가진원이 존재 한다면 가진원에 의하여 발생된 소리는 내부 형상에 의한 공명 현상으로 인해 더 큰 소음을 만들어내므로, 내부 형상의 변경을 통해 공진을 일으키는 고유진동수의 대역을 이동 시키거나 가진원의 주파수 특성을 변경시켜 공진과 공명을 일으키지 않도록 설계 변경 해야만 한다.

해석범위는 관심 주파수를 포함 시키는 범위로 0Hz에서 3200Hz까지 선정하였고 Line step은 10Hz로 선정하였다. 하

우정의 주파수응답함수 해석 결과는 Fig. 12에 나타내었다. 주파수응답함수는 크기와 위상의 함수로 크기에서의 최고(peak) 값과 위상의 변화를 통하여 공진과 공명을 일으키는 고유진동수를 찾을 수 있다.

Fig. 12는 하우징 상단의 한 측정점인 측정점 7에서 그려진 주파수응답함수이다. 그 아래에는 석션의 목적 주파수를 표시하여 고유진동수와 겹쳐지는지 여부를 판단할 수 있도록 하였다. 본 하우징의 결과에서는 고유진동수와 목적주파수가 일치 하진 않았다. 3000Hz 근방에 2991Hz에서 Peak가 발생하였으나 위상 정보를 보았을 때 고유진동수로 보기는 어렵다.

만약 고유진동수와 목적 주파수가 겹쳐지게 선정이 된다면 다음과 같은 방법으로 소음저감 대책을 세울 수 있다.

- 1) 목적주파수의 경우 기본 회전주파수인 57.6Hz 성분의 배음(808Hz, 1731Hz, 2421Hz)과 고유진동수가 일치 하였을 때
- 2) 날개통과주파수인 3000Hz가 고유진동수와 일치 하였을 때 전자의 경우 모터의 회전수의 배음 성분임으로 회전주파수를 쉽게 바꾸기 어렵다. 저소음 모터의 사용으로 어느 정도 감소가 가능하나 축이 회전하면서 모터가 아닌 다른 부분에서 발생하는 소음은 저감 시킬 수 없다. 더구나 회전수가 다른 모터를 사용하여 소음을 변경 시키는 것은 석션의 성능과 관계되어지고 또한 소음 특성이 바뀌므로 소음 해석을 처음부터 다시 해야 하는 어려움이 뒤따른다. 이에 저소음 모터 사용과 더불어 해당 고유진동수에서의 음압이 높게 나오는 곳을 선정하여 그 곳의 형상을 변경 시키는 방법을 제안한다. 한 예로 해석

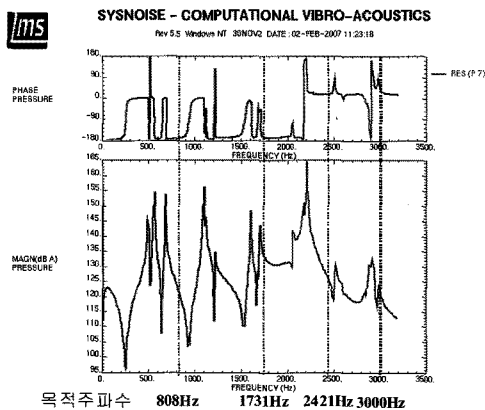


Fig. 12 Frequency response function at 7 point

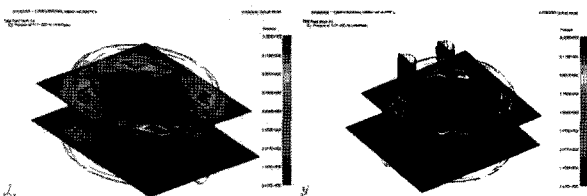


Fig. 13 Sound Pressure distribution at 1711Hz

결과 중 하우징의 고유진동수 중 하나인 1711Hz의 경우 목적 주파수와 일치 한다면 Fig. 13에 나타난 붉은 지점에 형상을 변경 시켜주는 것으로 소음을 저감하는 방법이다. Fig. 13은 본 해석 결과 중 1711Hz의 가진 시 하우징 내부의 음압 분포를 보여주는 것으로 하우징 상단의 4지점의 음압이 크게 나타남을 볼 수 있다.

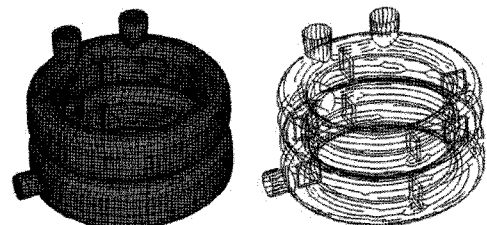
후자의 경우, 두 가지 방법을 제안한다. 한 가지 방법은 전자와 마찬가지로 내부 음압분포 결과를 보고 음압분포가 큰 곳의 형상을 변경하는 방법이다. 또 다른 방법은 임펠러 개수의 변경에 따른 날개통과주파수의 변화이다.

4.2 가진 주파수의 변화에 따른 음향 해석

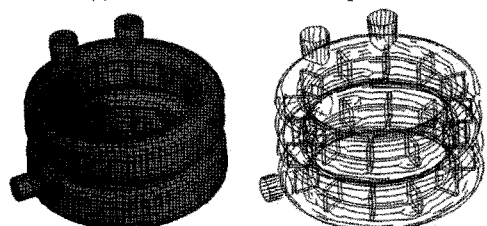
임펠러 부위의 가진원은 모터의 회전으로 인한 임펠러의 날개이다. 가진 주파수의 변화는 날개통과주파수의 변화를 말하며, 결국 날개 개수의 변화를 나타낸다.

하우징 형상에 임펠러 날개를 상·하단의 각각 4개씩 추가한 것과 각각 12개씩 추가한 것에 대하여 비교 분석 후 소음 저감의 입장에서 대책을 제안하였다. Fig. 10에 도시한 하우징의 모델링은 임펠러 날개 수에 따라 각각 다음과 같다. Fig. 14 해석에 있어서 측정점은 앞서 수행한 측정점과 동일하다.

Fig. 15(a)는 임펠러의 개수가 4개일 때의 측정점 25에서 구한 주파수응답함수이다. (b)는 임펠러의 개수가 12개에서 동일 측정점의 주파수응답함수이다. 두 그래프를 비교해보면 주파수의 크기 및 위상에 대한 정보가 비슷함을 알 수 있다. 하지만, 자세히 살펴보면 임펠러의 개수가 늘면서 고유진동수가 저주파대로 이동한 것을 볼 수 있다. 고유진동수의 이동과 더불어 해석 영역내의 고유진동수는 늘어나고 특히 2000Hz이상에서 고유진동수들이 조밀해 짐을 알 수 있다. Fig. 16은 임펠러가 하우징 세로 단면에서 차지하는 부분을 360° 회전시켜 제

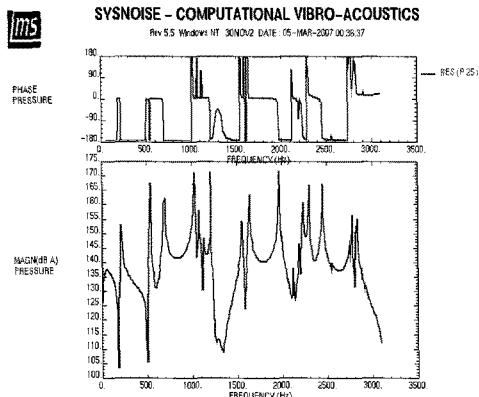


(a) Mesh model with 4 impellers

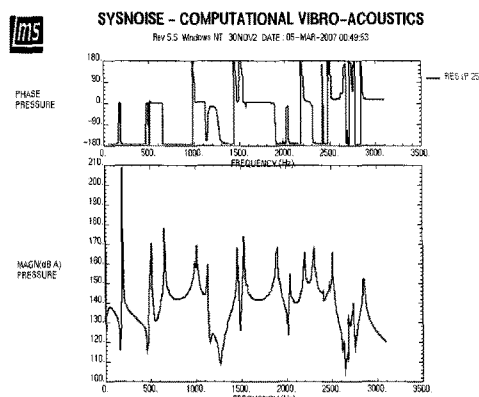


(b) Mesh model with 12 impellers

Fig. 14 Mesh model of housing for the acoustic analysis



(a) Case of mesh model with 4 impellers



(b) Case of mesh model with 12 impellers

Fig. 15 Frequency response function at 25 field point

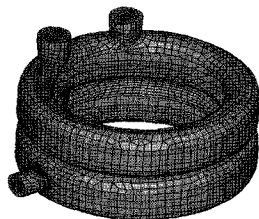


Fig. 16 Mesh model without volume of impeller around inner wall

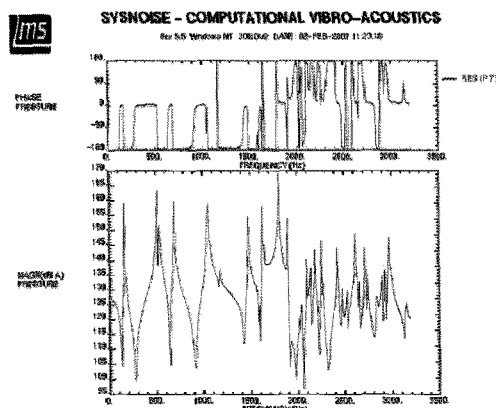


Fig. 17 Frequency response function

거한 것으로 임펠러가 무수히 많은 것으로 가정할 수 있다. 이때의 주파수응답함수를 보면 Fig. 17과 같이 2000Hz 이상 많은 수의 고유진동수가 조밀하게 모여 있음이 보인다. 실제 석선의 경우 52개의 많은 날개수를 가지고 있으므로 이와 비슷한 결과를 보일 것으로 예상된다. 이것은 결국 날개통과주파수(3000Hz)와 내부 형상에 따른 고유진동수가 서로 다르도록 변경하기 어려움을 나타낸다. 따라서 소음 저감을 위하여 임펠러의 개수를 줄일 것을 제안하는 바이다.

임펠러의 개수가 줄어들면 2000Hz 이상에서 고유진동수가 줄어들어 날개통과주파수와 고유진동수가 다르도록 설계하기 쉬워진다. 또한, 임펠러가 줄면서 날개통과주파수역시 저주파수 영역으로 줄어들기 때문에 고유진동수가 많은 고주파수 영역을 피하여 보다 고유진동수간의 간격이 있는 저주파 영역으로 피할 수 있기 때문이다. 따라서 현재의 석선기의 성능이 유지되는 경우까지 임펠러의 날개 수를 줄일 것을 제안한다.

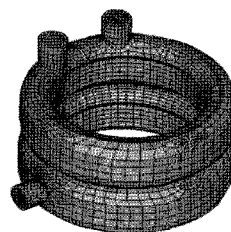
4.3 자유도 변화에 따른 음향해석

해석은 시간과 비용을 절감 시키고, 실제 재현하기 어려운 경우도 비교적 쉽게 표현할 수 있다. 하지만 이러한 장점에도 불구하고 실제 현상과의 오차를 배제할 수 없다. 해석 시 정확도는 해석을 위한 모델이 실제 대상을 어느 정도 정확히 표현할 수 있는가, 해석 시 경계조건이 실제 일어나는 현상을 얼마나 반영 하는가 등에 의해 결정된다. 해석을 위한 모델링의 격자 또한 해석의 정확도를 결정한다. 해석 모델의 격자는 해석의 자유도 수를 말하며 자유도 수가 많아질수록 해석의 정확도는 높아진다. 그러나 자유도수가 높아지면 기하급수적으로 해석시간이 늘어나므로 해석자가 상황에 따라 적절히 선택하여야 한다.

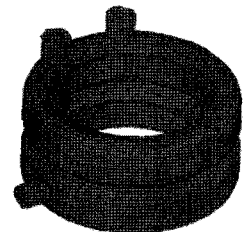
자유도 변화에 따라 석선 하우징의 음향해석을 통해 유용성을 판단하는 것을 목적으로 한다.

Table 1 Change the number of elements

	Case 1(기준)	Case 2	Case 3
Element	6022	4230	3811
Node	5590	4221	3801



(a) Case 1 - mesh

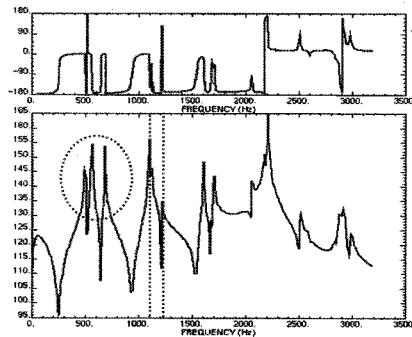


(b) Case 3 - mesh

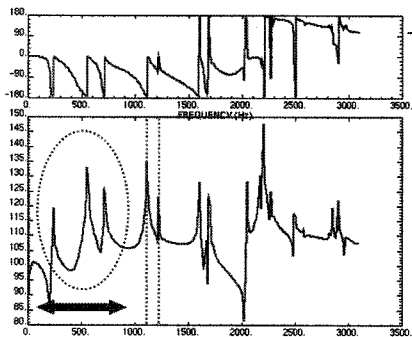
Fig. 18 Comparison between Case1-3

4장에서 수행한 음향해석에 사용된 격자 모델은 자유도수를 충분히 준 것으로 이것을 기준으로 하여 두 수준으로 자유도수를 줄이고 그에 대한 해석결과를 평가하였다. Table 1에 각 수준마다 요소와 격자점 수의 변화를 나타내었다.

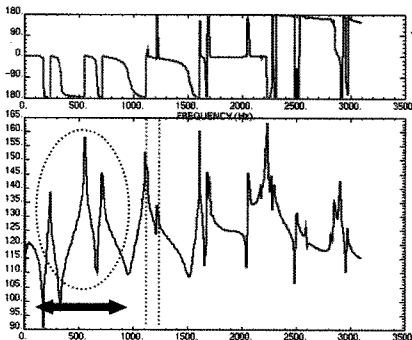
격자의 수가 줄어들에 따라 Fig. 18과 같이 격자의 형태는 더 거칠어지고 해석오차가 커지게 된다. Fig. 18(a)는 조건 1



(a) Frequency response function of case 1



(b) Frequency response function of case 2



(c) Frequency response function of case 3

Fig. 19 Comparison to frequency response function

Table 2 Error ratio according to change number of mesh

Case 1	491	561	681	1101	1611	2211
Case 2	241	551	711	1111	1601	2201
1-2비교 및 오차	-250	-10	30	10	10	-10
	50.9%	1.7%	4.4%	0.9%	0.6%	0.4%
Case 3	241	561	711	1111	1611	2221
1-3비교 및 오차	-250	0	30	10	0	10
	50.9%	0%	4.4%	0.9%	0%	0.4%

을 Fig. 18(b)는 조건 3을 나타낸 것이다. 두 격자 간의 차이는 주로 확인될 정도로 그 수를 줄여서 격자를 나누었다.

세 가지 경우, 해석 결과 나타난 주파수응답함수는 Fig. 19와 같다. 먼저 Fig. 19(a)를 기준으로 (b)와 (c)를 살펴보면 1kHz 미만 대역에서는 크게 오차를 보이고 그 이상으로는 변화가 거의 없음을 알 수 있다. 각각의 경우 1kHz 미만 대역에 속해있는 세 개의 최고점들은 크게 주파수 변동이 있음을 알 수 있다. 이것은 (b)와 (c)의 데이터 결과 중 1kHz 미만에서는 데이터를 신뢰 할 수 없음을 말한다.

각 최고의 주파수 변동률과 오차(%)는 Table 2에 정리하였다. 본 연구의 경우 회전주파수가 57.7Hz, 임펠러의 날개 개수가 52개로 주된 소음 성분인 날개통과주파수가 3000Hz이므로 하우징 형상에 따른 음향모드의 관심 영역은 3000Hz 근처에 머문다. 따라서 관심 영역 내에서는 자유도수의 변화에 따른 영향을 거의 무시할 수 있다. 즉, 1kHz 미만에 데이터 결과가 필요 없는 본 연구에서는 자유도수를 줄여 해석시간을 줄여 보다 빠른 음향모드 결과를 확인할 수 있다는 결론을 얻었다.

5. 결론

본 연구에서는 의료용 진공 펌프인 석션의 소음저감 대책을 위해 석션의 소음특성 규명 실험과 역 설계 기법을 이용하여 해석모델을 완성하고 경계요소법을 적용한 음장해석을 하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 석션의 정상상태 작동 중 소음레벨을 평가하였다. 임펠러의 날개가 52개, 기본 회전주파수가 57.7Hz이므로 날개통과주파수가 3000Hz로 나타남을 알 수 있고, 소음레벨 측정 실험결과 3000Hz의 소음 성분이 가장 큰 것으로 드러났다.
- (2) 역 설계 기법을 이용하여 음장해석을 위한 정밀 모델링을 수행하였다. 3차원 레이저 스캔을 사용하여 석션 임펠러 및 하우징의 단품의 기하학적 데이터를 측정하였다. 측정된 데이터는 점 데이터로 컴퓨터로 전송되고 이것을 선 데이터로 다시 면 데이터로 가공하여 단품별 모델을 완성하였다. 단품별 모델링을 조립 하여 전체 모델링을 완성시킨 후 내부 공간의 경계면만을 추출하여 음장해석을 위한 모델링을 완성하였다.
- (3) 경계요소법을 적용하여 하우징 내부의 음향 주파수응답함수를 구하였다. 내부의 임펠러의 개수를 변화시키면서 하우징 내부의 음향 주파수응답함수의 성향을 파악하고 석션의 소음 가진원인 날개통과주파수와와의 관계를 고찰하여 석션의 저소음 방안을 제안하였다. 또한 효율적인 해석시간을 위해 자유도수 변화에 따른 음향모드의 오차율을 계산하여 그 유용범위를 확인하였다.

참고 문헌

- (1) Madison, R. D., 1949, *Fan Engineering*, Buffalo Forge Company, 5th Edition.
- (2) Deming, A. F., 1938, Noise from Propellers with Symmetrical Sections at Zero Blade Angle, *NASA TN*, No 679.
- (3) Lee, D. J., and Jeon, W. H., 1999, "Aerodynamic Noise of the Bower," *KFMA*, Vol. 2, No. 1, pp. 1~10.
- (4) Neise, W., 1992, "Review of Fan Noise Generation Mechanism and Control Method," *An International INCE Symposium*, pp. 45~56.
- (5) Lowson, M. V., 1965, "The Sound Field for Singularities in Motion," *Proc. R. Soc. London, SerA*, 286, pp. 559~572.
- (6) Cho, H. C., Jeong, J. J., Yun, S. Y., and Jeong, M. G., 2003, "Modeling of Turbine Blade Using the Reverse Engineering," *KSIE, 2003 Autumn Conference paper*, pp.315~318.
- (7) Ahn, D. G., Lee, J. Y., and Yang, D. Y., 2006, "Rapid Prototyping and Reverse Engineering Application for Orthopedic Surgery Planning," *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol.20, No.1, pp.19~28.