

가속도 측정신호를 이용한 냉장고 팬의 진동원과 방사소음의 예측 Estimation of Vibration Source and Sound Radiation of a Refrigerator Fan by using Measured Acceleration Signals

정 병 규*·정 의 봉†

Byung-Kyoo Jung and Weui-Bong Jeong

(2011년 6월 1일 접수 ; 2011년 8월 8일 심사완료)

Key Words : Source Identification(진동원 규명), Singular Value Decomposition(특이치 분해), Auto/Cross Spectrum(자기·상호 스펙트럼), Radiated Noise(방사소음), Refrigerator Fan(냉장고 팬)

ABSTRACT

Obtaining the real exciting force is important for the analysis of structural vibration or sound radiation to represent the actual condition. But in most cases, it is so difficult to get the actual force signals by direct measurement using sensors due to complex geometry. This paper suggests advanced source identification method which can be applied to the prediction of radiated noise considering correlations between measured signals. This method was implemented to the identification of the fan force in the refrigerator. The analysis of structural vibration and radiated noise caused by the fan force was also performed. The comparison between predicted SPL and measured SPL of the radiated noise by the refrigerator fan showed good agreement.

1. 서 론

최근 사람들의 생활의식 향상 및 주거환경 개선에 대한 관심이 증가함에 따라 가전업계에서도 제품의 소음 및 진동문제가 중요시 되고 있다. 특히 냉장고는 다른 가전제품과는 달리 실내에 위치하여 24시간 운전하는 제품으로서, 소음과 진동에 대한 성능 개선이 중요한 인자로 자리 잡았다. 냉장고의 소음은 팬(fan)의 순환운동과 냉매의 흐름으로 발생하는 공력소음(air-borne noise), 압축기(compressor) 및 팬 모터의 진동으로 발생하는 구조소음(structure-borne noise)으로 나눌 수 있다. Jung⁽¹⁾의 연구에서는 1 kHz를 기준으로 그 이하의 영역에서는 팬의 소음

이, 그 이상의 영역에서는 압축기 및 냉매소음이 지배적인 것을 밝혀냈으며, 이 외에도 팬 소음⁽²⁾, 압축기 소음⁽³⁾, 냉매소음⁽⁴⁾에 대한 연구가 현재까지 활발히 진행되고 있다. 이 논문에서는 압축기 소음과 냉매소음을 제외한 팬 소음에 대하여 1 kHz 이하의 영역에서 소음특성을 분석하고자 한다.

냉장고의 팬은 냉동실과 냉장실 내부에 위치하여 회전운동을 통해 증발기를 통과한 냉기를 전체적으로 순환을 시키는 작용을 한다. 이때 팬의 회전운동은 구조물에 동적 가진력으로 작용하여 부가적으로 냉장고 전체의 진동과 소음을 야기한다. 이러한 가진력의 정보는 구조물의 동적해석에 매우 중요하나, 센서의 설치 및 유지 등의 문제로 직접 측정하는 것이 불가능한 경우가 많다. 반면에 가진력에 의해 야기되는 구조물의 진동신호는 상대적으로 측정이 용이하기 때문에, 측정된 진동신호로부터 주파수영역에서의 가진력을 추정하고자 하는 연구가 이루어져왔다. Lee⁽⁵⁾는 공조용 압축기의 작동 중 진동응답

† 교신저자; 정희원, 부산대학교 기계공학부
E-mail : wbjeong@pusan.ac.kr
Tel : (051)510-2337, Fax : (051)517-3805
* 부산대학교 대학원 기계공학부

과 구조물의 질량, 강성행렬을 이용하여 가진력을 규명하는 연구를 하였으며, Jung⁽⁶⁾과 Lee⁽⁷⁾, Song⁽⁸⁾은 구조물의 작동 중 진동응답과 시스템의 전달함수로부터 진동원에서의 가진력을 규명하는 방안을 제안하였다. 이 논문에서는 가진력의 추정에 대하여 구조물의 진동응답과 전달함수를 이용하는 방법을 사용했다. 이때 보다 신뢰성 있는 가진력의 추정을 위해서는 정확한 전달함수가 필요하다. 전달함수의 측정에는 실험적 방법이나 해석적 방법이 있는데, 해석적 방법에 비해 실험적 방법이 실제 구조 파라미터를 포함하고 있기 때문에 더 신뢰도가 높고 정확하다. 그러나 냉장고의 웬과 같이 특정한 구조물의 경우, 직접적인 가진이 어려운 것이 사실이다. 따라서 전산모델의 구조해석으로 전달함수를 얻는 것이 용이한데, 이에 앞서 전산해석의 신뢰성을 높이기 위한 과정이 필요하다. 이렇게 얻은 전달함수와 작동 중의 구조진동응답으로부터 가진력을 추정할 수 있다.

이 논문에서는 실험과 구조전산해석을 결합한 진동원 규명(source identification) 방법으로 가진력을 추출하고, 상용음향해석 프로그램을 활용한 방사소음 해석으로 웬 소음의 실측량과 비교 및 검증해 보고자 한다.

2. 진동원 규명 이론

선형진동계에서 복소수 가진력에 대한 주파수 영역에서의 진동 응답은 다음과 같이 나타난다.

$$\{X(w)\} = [H(w)]\{F(w)\} \quad (1)$$

여기서 $\{X(w)\}$ 는 응답벡터, $[H(w)]$ 는 주파수 전달함수, $\{F(w)\}$ 는 가진벡터를 의미한다. 위 식은 응답과 가진의 관계가 서로 선형계이고, 각각의 가진력이나 응답 간에는 상관관계(correlation)가 없다는 가정을 전제로 하고 있다. 그러나 실제 구조물의 진동응답의 경우, 각각의 가진력이나 응답은 서로 간에 영향을 미치는 상관관계를 가지고 있으며 상당한 외부 노이즈도 포함하고 있다. 따라서 조금 더 실제와 유사하고 정확한 현상의 규명을 위하여 위 식은 자기·상호간의 스펙트럼을 포함하고 평균화과정(averaging)을 고려한 형태로 다음과 같이 변환되어야 한다.

$$\begin{aligned} \{X(w)\}\{X(w)\}^* &= [H(w)]\{F(w)\}\{F(w)\}^*[H(w)]^* \quad (2) \\ [S_x(w)] &= [H(w)][S_f(w)][H(w)]^* \end{aligned}$$

위 식에서 $[S_x(w)]$ 와 $[S_f(w)]$ 는 주파수별 응답 벡터와 가진벡터의 자기·상호 스펙트럼행렬(auto/cross-spectrum)이고, 위첨자*는 복소전치행렬(conjugate transpose)을 의미한다. 일반적으로 몇 점의 집중하중으로 작용하는 가진력을 규명하기 위해서는 하중의 수보다 더 많은 응답의 수를 요구한다. 응답의 수가 많으면 많을수록 전 영역에서 합당한 하중 값을 얻어낼 수 있기 때문이다. 그러나 응답의 수가 하중의 수보다 많아지면 전달함수 $[H(w)]$ 는 비-정방행렬(Non-square matrix)로 변하게 되고, 이 식을 $[S_f]$ 에 대해 풀기위하여 비-정방행렬의 역행렬을 계산하는 의사역행렬(pseudo inverse; †로 표기)을 이용해야 한다. 이렇게 계산된 가진력의 $[S_f]$ 는 다음과 같다.

$$[S_f(w)] = [H(w)]^\dagger [S_x(w)] ([H(w)]^*)^\dagger \quad (3)$$

그런데 전달함수의 역행렬 계산은 행렬의 특이치 값에 따라 상당한 오차를 포함할 수도 있다. 특히 특이치 간의 크기차가 큰 경우, 그 행렬의 역행렬은 상당히 불안정한 값을 가지게 된다⁽⁹⁾. 따라서 이러한 역행렬로 인한 오차를 없애기 위해 특이치 분해(singular value decomposition)를 사용한다.

$$[H(w)] = U\Sigma V = \begin{matrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ \vdots \end{bmatrix} \end{matrix}^T \begin{bmatrix} \lambda_1 & & & \\ & \lambda_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ \vdots \end{bmatrix} \quad (4)$$

즉, 전달함수 행렬 $[H(w)]$ 을 좌특이벡터 U 와 우특이벡터 V , 특이치 대각행렬 Σ 로 분해한 뒤, Σ 행렬에서 불량조건을 유발시키는 작은 특이치 값을 적당한 값으로 대체시켜 새로운 Σ 특이치 행렬과 $[H(w)]$ 을 산출한다. 이렇게 산출된 값으로 다시 가진력의 자기·상호 스펙트럼행렬을 계산하면 오차가 적고 신뢰할 만한 $[S_f]$ 값을 얻을 수 있다. 그러나 자기·상호 스펙트럼행렬인 $[S_f]$ 값은 복소수 스펙트럼 $\{F(w)\}$ 을 필요로 하는 방사소음해석에는 사용이 불가능하다. 따라서 $[S_f]$ 로부터 가진 스펙트

럼 $\{F(w)\}$ 을 추출하는 작업이 필요하다. 아래의 식은 가진 스펙트럼을 추출하기 위해 행렬 $[S_f]$ 요소의 크기(magnitude)와 위상(phase)을 나타낸 식이다.

$$\text{magnitude: } \begin{bmatrix} F_1^2 & F_1F_2 & F_1F_2 \cdots F_1F_m \\ & F_2^2 & F_2F_3 \cdots F_2F_m \\ & & F_3^2 \cdots F_3F_m \\ \text{conj sym} & & \ddots & \vdots \\ & & & F_m^2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\text{phase: } \begin{bmatrix} 0 & \phi_1 - \phi_2 & \phi_1 - \phi_3 \cdots \phi_1 - \phi_m \\ \phi_2 - \phi_1 & 0 & \phi_2 - \phi_3 \cdots \phi_2 - \phi_m \\ \phi_3 - \phi_1 & \phi_3 - \phi_2 & 0 \cdots \phi_3 - \phi_m \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \phi_m - \phi_1 & \phi_m - \phi_2 & \phi_m - \phi_3 \cdots & & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

여기서 m 은 가진력의 개수를 의미한다. 위 식을 살펴보면 식 (5) 행렬의 대각요소로부터 가진력벡터 $\{F(w)\}$ 의 크기를 다음과 같이 산출할 수 있다.

$$\{|F(w)|\} = \{\sqrt{F_1^2}, \sqrt{F_2^2}, \dots, \sqrt{F_m^2}\}^T \quad (7)$$

그리고 식 (6)의 행렬에서는 가진 벡터간의 위상차를 얻을 수 있다. 즉, 가진 벡터중 하나를 기준위상(reference phase) 신호로 잡았을 때, 나머지 가진 벡터의 위상을 식 (6)의 한 열로부터 얻을 수 있는 것이다. 그렇다면 식 (6)에서 어떤 열을 선택하는 것이 가장 실제와 유사할 것인가라는 문제에 접하게 되는데, 이는 실험으로 측정된 몇 개의 응답스펙트럼(spectrum)로부터 추정오차의 표준편차를 최소화 하도록 아래와 같은 과정을 통해 구할 수 있다.

$$\epsilon_i = X_{test_i} - X_{cal_i} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (8)$$

$$\sigma_k(\epsilon_i) = \sqrt{\frac{\sum(\epsilon_i - E(\epsilon_i))^2}{n}} \quad (k = 1, 2, \dots, m) \quad (9)$$

식 (8)은 실험으로 측정된 냉장고 벽면의 응답스펙트럼(X_{test_i})과 규명된 가진력을 전산모델에 입력하여 얻은 해석에서의 응답스펙트럼(X_{cal_i})간의 추정오차(ϵ_i)을 구하는 식이고, 식 (9)는 그 추정오차의 표준편차($\sigma_k(\epsilon_i)$)를 계산하는 식이다. 여기서 n 과 m 은 각각 획득한 응답스펙트럼의 개수, 규명된 가진력의 개수를 의미한다. 따라서 위의 표준편차는 m 가지의 경우를 가질 수 있고, 그 중 가장 작은

표준편차를 가질 때, $[S_f]$ 위상행렬의 열(column)을 규명된 가진력의 위상(phase)으로 가정하면 가진력 벡터 $\{F(w)\}$ 는 다음과 같이 구해진다.

$$\{F(w)\} = \{F_1e^{i(\phi_1 - \phi_k)}, \dots, F_k e^{i0}, \dots, F_n e^{i(\phi_n - \phi_k)}\} \quad (10)$$

여기서 k 는 기준위상 위치를 나타낸다.

3. 응용 및 검증

3.1 냉장고 쉘 가진력의 규명

냉장고의 구조 및 방사소음을 분석하기 위해서는 2.1절에서 언급한 가진력 규명이론을 바탕으로 냉장고 쉘의 가진력을 추정해야한다. 쉘 가진력의 보다 정확한 규명에는 앞서 언급한 것과 같이 신뢰성 높은 복소수 전달함수 $[H(w)]$ 와 가진력 $\{F(w)\}$ 의 개수보다 더 많은 수의 냉장고 벽면 응답벡터 $\{X(w)\}$ 가 필요하다. 이 논문에서 응답벡터는 냉장고와 결합된 쉘을 전원공급기를 이용해 일정 RPM으로 작동을 시킬 때, 냉장고 벽면에서의 진동을 추정 가진력 개수의 3배수의 가속도계로 구했으며, 전달함수의 추출에는 구조해석 툴인 MSC.Nastran을 이용했다. 측정 주파수 대역은 냉매소음이 지배적인 부근을 제외한 1 kHz 이하의 영역에서 수행했다.

Fig. 1은 전달함수를 추출하기 위해 구조해석에 사용한 냉장고의 유한요소모델(FEM)로, 오른쪽 그림에서 볼 수 있듯이 쉘 가진에 의한 진동/소음의 영향을 보기위해 쉘 모듈 부분을 모델링하고 냉장고 캐비닛 모델과 assembly했다. FEM모델의 신뢰성을 높이기 위해 냉장고의 질량 및 재료 물성치를 실제와 동일하게 입력해 주었고, 캐비닛만을 대상으로 모달 테스트를 진행하여 실험과 해석의 고유진동수

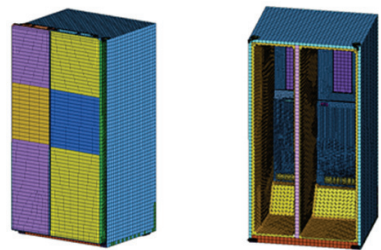


Fig. 1 FE model of refrigerator

및 고유모드를 비교해 보았다.

FE-model의 개선(updating)결과, Fig. 2에서 살펴볼 수 있듯이 실험과 해석의 고유모드가 유사한 것을 확인할 수 있다. 조금 더 공학적인 비교를 위해 Fig. 3에서는 R.F.D(relative frequency difference)와

MAC(modal assurance criterion)을 나타내었고 R.F.D와 MAC은 다음과 같이 정의된다^(10,11).

$$R.F.D_{ij} = w_i^{test} - w_j^{FE} \quad (11)$$

$$MAC_{ij} = \frac{|\{\psi_i^{test}\}\{\psi_j^{FE}\}|^2}{(\{\psi_i^{test}\}\{\psi_i^{test}\}^*)(\{\psi_j^{FE}\}\{\psi_j^{FE}\}^*)} \quad (12)$$

여기서 w_i^{test} 와 w_j^{FE} 는 각각 모달 테스트와 전산 해석으로 얻은 고유진동수, ψ_i^{test} 와 ψ_j^{FE} 는 고유진동수에서 실험과 해석의 고유벡터를 의미한다. 식 (11)과 식 (12)에 따라, Fig. 3의 (a)는 실험과 해석 고유진동수의 상대적인 차이를 나타내는 R.F.D 그래프이고, (b)는 고유모드 형상의 유사성을 나타내는 MAC 그래프이다. (a)의 경우 대각성분이 검정에 가까울수록 해석의 고유진동수가 실험의 고유진동수에 가까움을 의미하고, (b)의 경우는 대각성분이 흰색에 가까울수록 실험과 해석의 고유모드가 유사함을 의미한다. FE-model의 개선 및 MAC 비교와 같은 위의 과정을 통해 해석모델의 정도를 높였기 때문에, 보다 신뢰성 높은 전달함수를 해석으로부터 얻을 수 있음을 확인할 수 있다.

쉘 가진력의 추출과정에 사용할 전달함수 행렬을 얻기 위해 먼저 냉동실과 냉장실에 위치한 쉘 부근에 집중하중으로 입력할 몇 점을 선택한다. 선택한 하중 점에 단위가진을 입력하고 냉장고 벽면에서의 복소수 응답을 전달함수로 추출한다. 여기서 FEM 상의 응답의 위치는 실험에서 응답벡터를 얻은 냉장고 벽면의 위치와 동일하게 맞추어 주어야한다. 이렇게 얻은 복소수 전달함수 $[H(w)]$ 와 응답벡터 $\{X(w)\}$ 로부터 2.1절에서 제시한 과정으로 주파수별 복소수 가진력 $\{F(w)\}$ 을 추정할 수 있다. Figs. 4, 5는 냉동실 쉘(F-fan)과 냉장실 쉘(R-fan)에 대하여 추정된 가진력으로, $F_i^f(w)$ 와 $F_i^r(w)$ 는 FE-model의 전달함수 해석 시 집중하중으로 입력해주었던 포인트에서의 가진력 스펙트럼이다.

3.2 냉장고 구조진동의 예측

2.2절의 Fig. 4와 Fig. 5는 가진력 규명방법으로 추출한 냉동실과 냉장실 쉘의 가진력 신호이다. 각각의 가진 벡터는 복소수 형태를 가지고 있으며, MSC.Nastran의 RLOAD명령어를 통해 가진 신호의

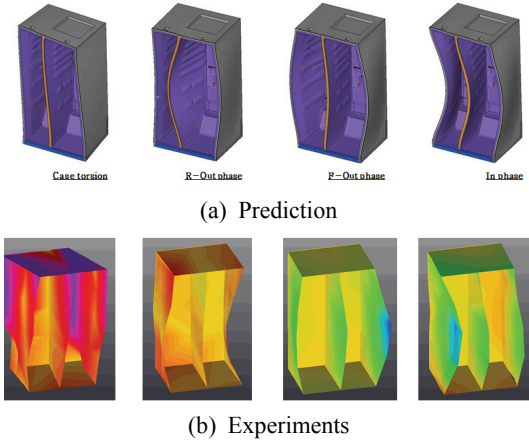


Fig. 2 Comparison of natural modes

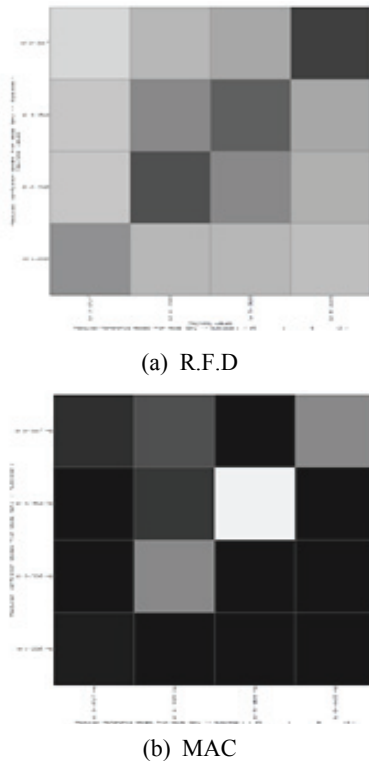


Fig. 3 Validation of FE model

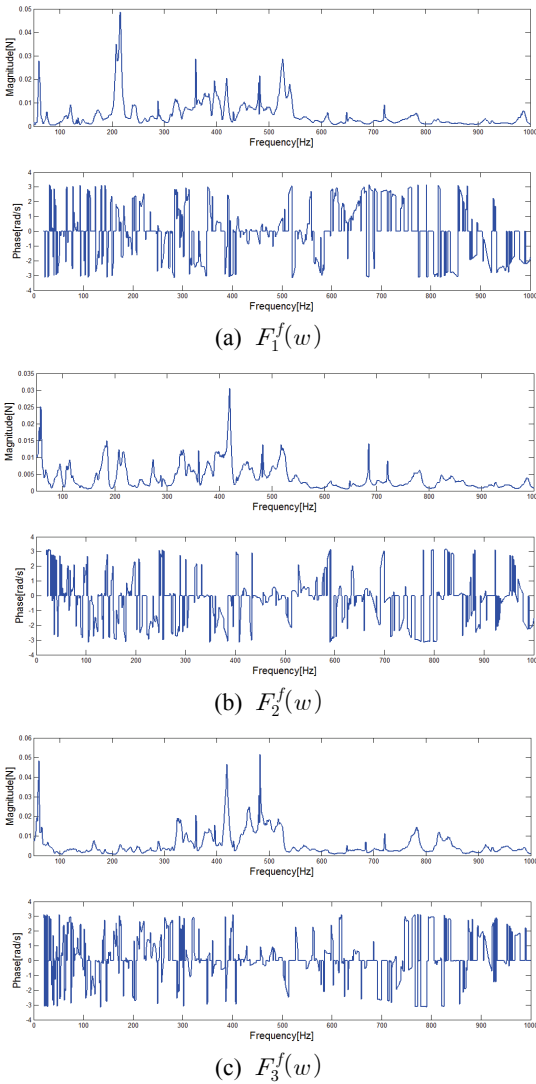


Fig. 4 Identified force signals of F-fan

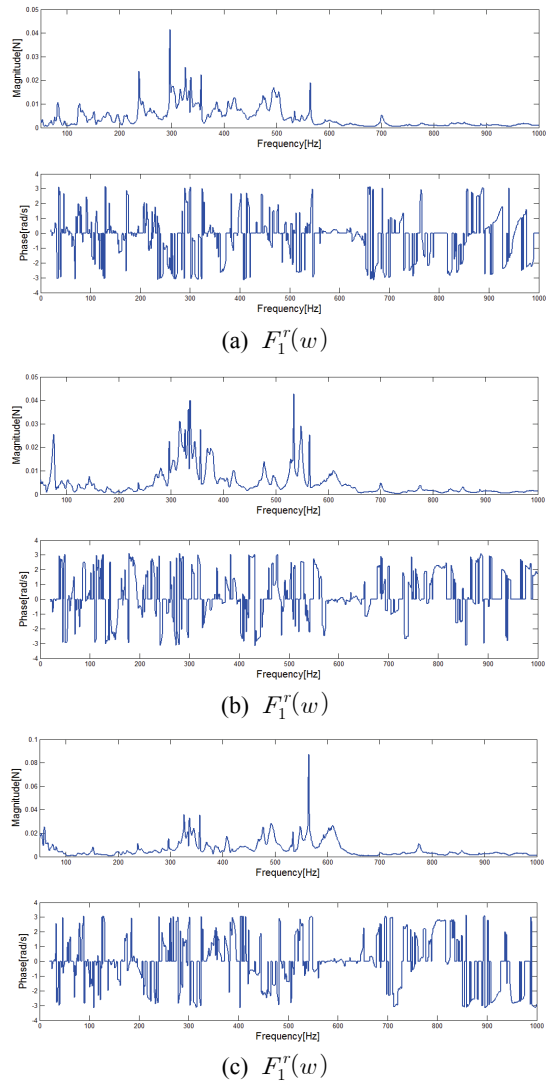


Fig. 5 Identified force signals of R-fan

입력이 가능하다. 아래의 결과는 냉장고 웬이 작동하는 경우에 대하여, MSC.Nastran의 forced response analysis로 얻은 벽면에서의 해석결과와 실험으로 얻은 응답벡터를 비교한 그래프이다. 여기서 $X_i^f(w)$ 는 냉동실 웬이 작동할 때의 냉장고 벽면의 가속도 응답벡터, $X_i^r(w)$ 는 냉장실 웬이 작동할 때의 냉장고 벽면의 가속도 응답벡터이다.

Fig. 6과 Fig. 7에서 점선은 실험으로 얻은 냉장고 벽면의 응답벡터이고, 실선은 실험과 동일 지점에 대하여 구조진동해석으로 얻은 응답벡터 결과이다. 그래프에서 볼 수 있듯이, 일부 peak에서 진폭을

잘 따라가지 못하는 부분이 있으나 대체로 해석이 실험의 경향을 잘 따라가고 있음을 살펴볼 수 있다. 이는 가속도 측정점의 개수를 충분히 증가시켜서 가진력을 추정하면 좀 더 좋은 예측 결과를 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

3.3 냉장고 방사소음의 예측

3.1절에서는 냉장고 벽면의 진동 데이터에 대하여 구조진동해석과 실험의 결과를 비교해 보고, 해석의 결과가 실험의 결과를 잘 표현하고 있음을 확인해 보았다. 3.2절에서는 앞 절의 구조해석 결과를

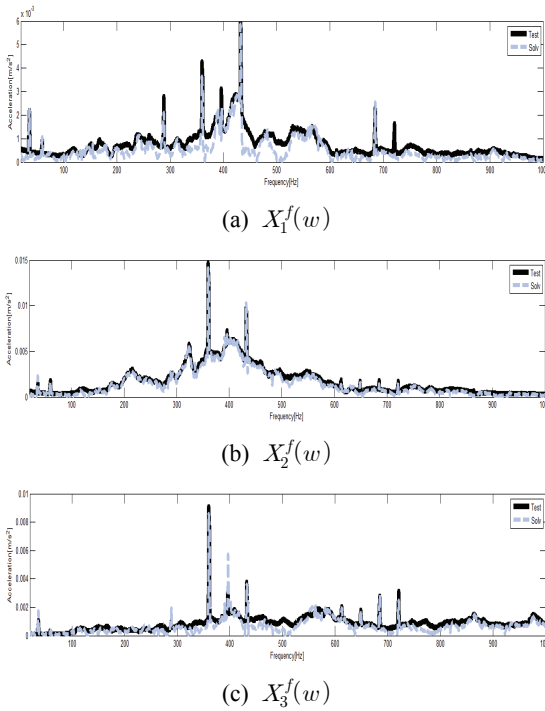


Fig. 6 Comparison of acc. with F-fan force

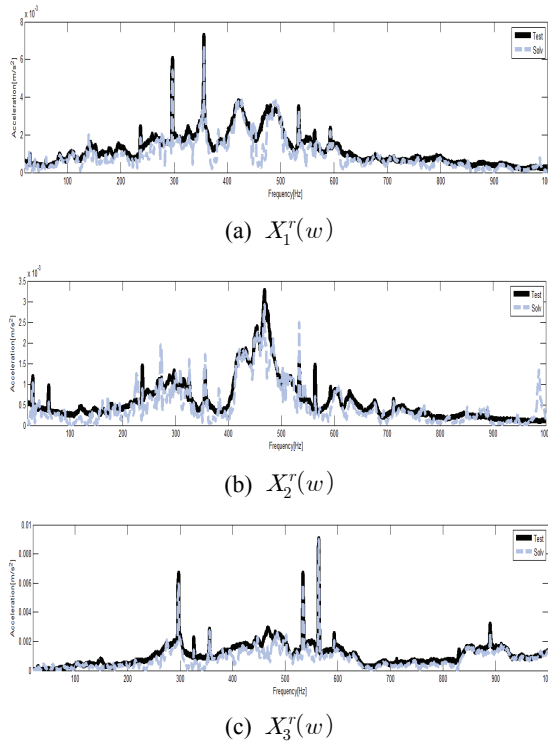


Fig. 7 Comparison of acc. with R-fan force

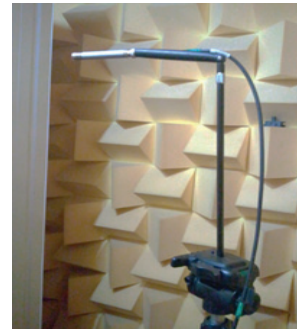


Fig. 8 Microphone

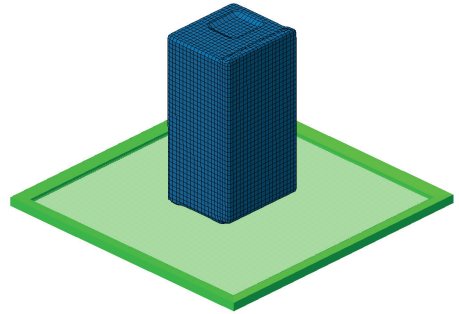


Fig. 9 Acoustic mesh & symmetry plane

바탕으로 LMS.Sysnoise를 이용해, 쉘 가진에 대한 냉장고의 방사소음 해석을 진행하고 실험값과 비교해보고자 한다.

방사소음의 측정은 외부 소음을 최소화하기 위하여 반무향실(cut-off frequency: 300 Hz)에서 진행했으며, Fig. 8에서 볼 수 있듯이 수음점은 냉장고 뒷벽면에서 0.5 m, 지상에서 1.0 m 떨어진 지점에서 마이크로폰을 이용해 1/3 octave band로 쉘의 소음이 지배적인 1 kHz까지 측정했다.

Fig. 9는 방사소음해석에 사용한 음향 격자(acoustic mesh)로 관심영역까지의 음압을 잘 표현하기 위해 적절한 크기의 격자로 coarsening 작업을 해주었고, 반무향실의 반사특성을 고려하기 위하여 대칭면(symmetry plane)도 만들어주었다. 그리고 음향해석 모듈에는 direct BEM exterior method를 사용했다. Figs. 10, 11은 냉동실 쉘(F-fan)과 냉장실 쉘(R-fan)에 의한 실험 및 해석의 방사소음을 1/3 octave band에서 dB(A)로 비교한 결과이다. 여기서 흰색 막대는 실험의 음압결과이고, 검정 막대는 해석의 음압결과이다.

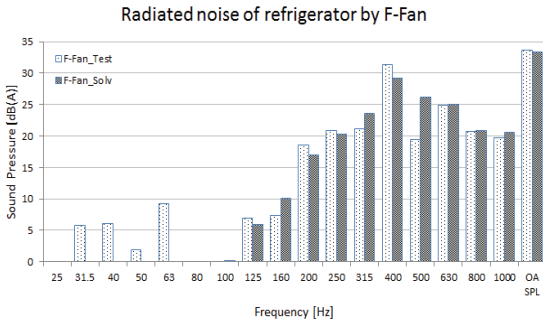


Fig. 10 Radiated noise by F-fan source

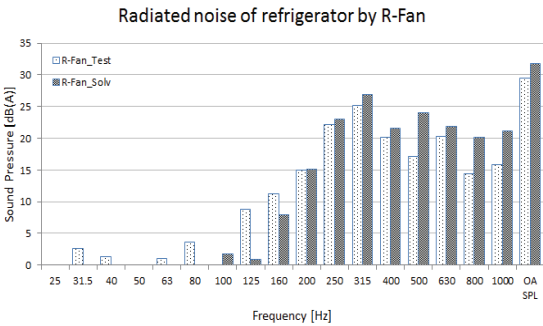


Fig. 11 Radiated noise by R-fan source

Fig. 10과 Fig. 11의 결과를 살펴보면 저주파 대역을 제외하고 전반적으로 해석과 실험의 경향이 비슷하게 나타남을 살펴볼 수 있으며, 대부분의 대역에서 오차의 범위가 ± 1 dB(A) 이내이며, over all SPL 값도 1.7 dB(A) 이내임을 확인하였다. 그러나 일부 주파수에서는 오차가 상당히 크게 나타나는데, 이는 2.2절의 가진력 추정과정에서 사용하는 응답벡터의 수가 적어, 가진력의 오차 및 구조/음향에서 오차를 발생시킨 것으로 짐작된다.

4. 결 론

이 논문에서는 냉장고 작동 중 벽면에서 측정된 가속도 신호로부터 진동원에서 발생하는 가진력을 규명하여 냉장고의 방사소음을 예측하는 방안을 제시하였다. 그리고 제안한 방법을 바탕으로 팬의 가진력을 규명하고, MSC.Nastran과 LMS.Sysnoise를 이용한 구조진동해석 및 방사소음해석으로 실험에서의 실측량과 비교 분석해보았다. 전체적인 프로세스의 결과, 유한요소모델의 구조진동 및 방사소음해

석이 실제 상태를 전반적으로 잘 표현하고 있으나, 일부 주파수에서는 규명된 가진력의 비정확성으로 인해 실험과 해석결과 사이의 추정오차를 발생시켰다. 그러나 이러한 오차는 가진력 규명과정에 사용하는 응답벡터의 개수를 충분히 늘려, 전체 구조물 영역에서의 진동응답을 고려한 가진력을 추정함으로써 보완 및 해결이 가능할 것이라 짐작된다.

이 논문에서 제시한 source identification 방법과 방사소음 예측 프로세스는 냉장고의 팬만이 아니라 가진력의 규명이 어려운 기타 구조물의 소음/진동해석에도 활용이 가능하리라 짐작되며, 각종 구조물의 소음/진동 문제를 해결하는데 유용한 자료가 될 것으로 기대된다.

후 기

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

- (1) Jung, K. I., Kim, Y. H., Seo, M. Y., Kim, S. G. and Lee, J. G., 2001, A Strategy of Refrigerator Noise Control by Using Subjective Assessment, Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 191~196.
- (2) Heo, S., Cheong, C. U., Seo, M. Y. and Kim, S. R., 2009, Application of Hybrid Techniques for the Prediction of Internal BPF Noise of Centrifugal Fan in Refrigerators and Its Reduction, Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 684~685.
- (3) Jong, C., Wang, S. Y., Park, S. I. and Lee, S. T., 2002, Noise Reduction of Reciprocal Compressor by Design Modification of Hermitic Shell, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 785~789.
- (4) Han, H. S., Kim, M. S., Jeong, W. B., Seo, M. Y. and Lee, S. Y., 2010, Analysis of the Vibration Transmitting Characteristics of the Insulation -foam for Reducing Refrigerant-induced Noise of a Refrigerator, Transactions of the Korean

Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 20, No. 1, pp. 45~50.

(5) Lee, H. W., Ryu, S. M., Jeong, W. B., Han, H. S. and Ahn, J. W., 2010, Force Identification of Rotary Compressor and Prediction of Vibration on a Pipe, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 20. No. 10, pp. 953~959.

(6) Jung, E. I., Chun, D. H. and No, S. H., 2006, Indirect Force Identification of Air-jet Weaving Machine Infrequency Domain, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 238~241.

(7) Lee, J. K., Yeo, S. D. and Bang, J. H., 1994, A Technique to Identify the Structure Borne Noise Sources Related to Structure Vibration using Response Signals, Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 160~164.

(8) Song, M. K., Lee, S. K. and Seo, S. H., 2008,

Structural Modification for Noise Reduction of the Blower Case in a Fuel Cell Passenger Car Based on the CAE Technology, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 18, No. 9, pp. 972~981.

(9) Lee, S. K., Noh, K. R. and Park, J. H., 2001, A Study on the Application of SVD to an Inverse Problem in a Cantilever Beam with a Non-minimum Phase, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 11, No. 9, pp. 431~438.

(10) Park, O. C. and Lee, G. M., 2007, Updating of Finite Element Models Including Damping, Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 708~713.

(11) LMS, LMS Virtual.Lab REV9 NVH Standard Training.