한국소음진동공학회 2011년 추계학술대회논문집, pp.635~636

모드 확장법을 이용한 압축기의 진동장 규명

Identification of Vibration-filed of a Compressor by using Modal Expansion Method

정병규* · 정의봉†· 김재호**

Byung-Kyoo Jung, Weui-Bong Jeong, Jae-Ho Kim

1. 서　론

가정용 냉장고의 압축기는 기계실에 위치하여 냉장고 전체의 진동과 소음에 지배적인 영향을 미친다. 최근의 연구에 따르면 압축기의 소음이 냉장고 전체의 소음에 40%를 차지한다고 알려진바 있으며, 이에 압축기 소음의 정확한 규명을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

정확한 소음의 규명을 위해서는 먼저 진동의 규명이 우선시 되어야 한다. 신뢰성 있는 진동신호의 획득은 실험을 통해 얻을 수 있으나, 센서의 설치 및 유지 또는 개수 제한 등의 문제로 대상 구조물의 전 영역을 실측하는 데에는 어려움이 있다. 반면 전산해석을 이용한 진동장의 예측은 쉽게 얻을 수 있으나 신뢰성이 떨어지는 문제점이 있다. 따라서 본 논문에서는 실제 구조 파라메터를 포함하는 실험의 진동신호와 전산해석을 결합한 모드 확장기법(modal expansion method)을 이용하여 압축기의 진동장을 보다 정확하게 규명해 보고자 한다.

2. 모드해석 및 검증

2.1 충격시험(Impact Test)

모드 확장기법을 활용하기 위해서는 전산해석으로부터 정확한 구조물의 모드를 구하는 작업이 필요하다. 이에 전산모델의 검증으로서 충격시험을 진행하였으며, 실험은 총 87점을 충격해머로 가진하고 각 점에서의 주파수 응답을 얻었다. 계측 및 후처리에는 LMS의 TEST LAB을 이용하였고, 최종 결과로 압축기의 고유진동수와 모달댐핑을 얻을 수 있었다. 아래의 Fig.1은 실험으로 얻은 압축기의 1~2차 고유모드(mode shape)이다.

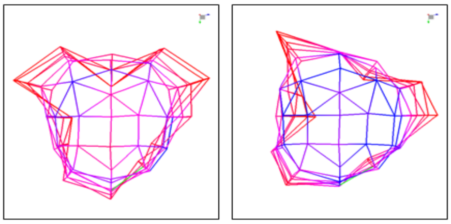

Fig.1 1st and 2nd mode shape of compressor

2.2 전산해석 모델의 비교 · 검증

전산모델의 경우 충분한 모드를 표현하기 위해 절점과 요소의 수를 적절히 조절해 주었으며, 유한요소해석은 MSC.Nastran을 사용하였다. 해석결과의 검증은 2.1절의 충격시험 결과 값을 바탕으로 고유모드의 유사성을 나타내는 MAC(modal assurance criterion)으로 표기하였다. MAC값의 정의는 식(1)과 같다.

$$MAC_{ij} = \frac{\left|\left\{\psi_i^{test}\right\}\left\{\psi_j^{FE}\right\}^*\right|^2}{\left(\left\{\psi_i^{test}\right\}\left\{\psi_i^{test}\right\}^*\right)\left(\left\{\psi_j^{FE}\right\}\left\{\psi_j^{FE}\right\}^*\right)} \tag{1}$$

여기서 w_i^{test}와 w_j^{FE}는 충격시험과 유한요소해석으로 얻은 고유진동수이고, ψ_i^{test}와 ψ_j^{FE}는 고유진동수에서 실험과 해석의 고유벡터를 의미한다. MAC값은 1에 가까울수록 모드 형상이 비슷함을 의미하며, 일반적으로 0.7이상이면 신뢰성 있다고 판단한다. 이 값을 이용하여 실험과 해석을 비교한 결과는 아래의 Table 1과 같다.

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

Table 1 Modal assurance criterion

Mode ID	Test Natural Frequency	Analysis Natural Frequency	MAC value
1	2331.7 Hz	2214.6 Hz	0.535
2	2459.8 Hz	2411.5 Hz	0.829
3	2612.9 Hz	2612.3 Hz	0.766
4	2674.0 Hz	2684.0 Hz	0.609
5	3118.0 Hz	3059.6 Hz	0.722
6	3274.4 Hz	3419.2 Hz	0.719
7	3357.4 Hz	3444.6 Hz	0.456
8	3495.8 Hz	3510.9 Hz	0.694
9	4658.3 Hz	4647.2 Hz	0.576

위 결과를 살펴보면 실험과 해석의 고유진동수가 조금씩 차이가 나는 것을 볼 수 있으나, MAC값은 일부를 제외하고는 0.6이상으로 대체로 해석이 실험의 모드를 잘 표현하고 있음을 알 수 있다. 따라서 이 전산모델을 바탕으로 모드 확장기법을 적용하여 압축기의 진동장을 예측해 보고자 한다.

3. 모드 확장법을 이용한 진동장 규명

3.1 모드 확장법 이론

모드 확장법은 구조물의 전체 진동장을 쉽게 예측할 수 있는 해석의 장점과 실제 구조물의 특성을 표현하는 실험의 장점을 적절히 결합한 방법으로 이론식은 식(2)와 같다.

$$x(w)_{ij} = \sum_{k=1}^{m} \phi_{ijk} \bullet a(w)_k \qquad (2)$$

여기서 $x(w)_{ij}$는 주파수 w에서 i점의 j방향으로의 응답을, $a(w)_k$는 k번째 모드의 기여도를, ϕ_{ijk}는 k번째 모드에 해당하는 i점의 j방향으로의 고유벡터값을 의미한다. 위 식을 행렬 형태로 일반화하면 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\{X(w)\}_{m1} = [\Phi_{FE}]_{mn} \{a(w)\}_{n1} \qquad (3)$$

즉, 실험으로부터 작동상태의 응답벡터 $\{X(w)\}$을 얻고, 모드해석으로 고유벡터 행렬 $[\Phi_{FE}]$을 얻으면 주파수별 기여도 벡터 $\{a(w)\}$을 계산하여 나머지 점에서의 진동을 예측할 수가 있는 것이다. 이때 응답벡터의 개수 m은 모드의 수 n보다 최소한 크거나 같아야 보다 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있다.

3.2 압축기의 진동장 규명

3.1절의 모드 확장법 이론을 바탕으로 작동상태의 압축기 진동을 규명해보았다. 이때 사용한 모드 수는 9개이고, 응답벡터의 수는 9개, 13개, 17개로 변화시켜가면서 검증점에서 실측결과와 모드 확장법으로 도출된 결과를 비교해 보았다. Fig.2는 응답벡터 개수를 달리하였을 때, 검증점에서 도출된 결과의 peak값과 실제 측정된 peak값을 비교한 그래프이고, Table 2에는 응답의 RMS 값을 나타내보았다.

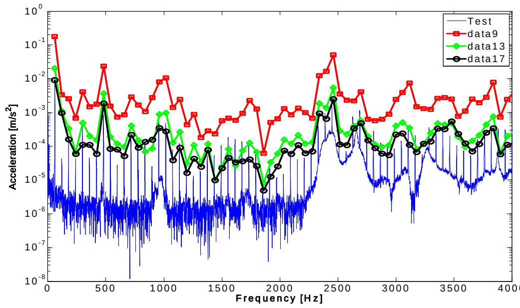

Fig.2 Comparison of acceleration signals

Table 2 Comparison of RMS value

	Test	Using 9 data	Using 13 data	Using 17 data
RMS value	0.0130	0.2736	0.0317	0.0143

4. 결 론

본 논문에서는 작동 중 압축기 표면의 일부 진동신호와 전산 모드해석을 이용하여 모드 확장법으로 압축기의 진동장을 규명해 보았다. 그리고 모드 확장법시 사용하는 응답벡터의 수를 변화시켜가며 실제 측정한 진동신호와 비교해 보았다. 그 결과 응답벡터의 수가 증가할수록 실측량과 유사한 결과 값을 얻을 수 있음을 확인하였다. 이러한 모드 확장기법을 이용하면 보다 정확한 압축기 진동장의 예측 및 더 나아가 신뢰성 있는 소음의 예측에도 활용 가능할 것으로 기대된다.

후 기

이 연구는 국방과학연구소의 지원을 받아 수행된 연구(No. UD110035DD)입니다.