

모드확장법을 이용한 압축기의 진동 및 방사소음 예측

Estimation of Vibration and Radiated Noise of a Compressor by using Modal Expansion Method

정병규*, 정의봉†, 김재호**

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

1. 서 론

가정용 냉장고에서 압축기는 제품 전체의 소음진동에 지배적인 영향을 미친다. 최근의 연구에 따르면 냉장고의 소음진동에서 압축기가 미치는 영향은 약 40%정도로 밝혀진 바 있다. 이에 압축기의 소음진동 규명에 관한 연구가 필요시 되고 있다.

압축기와 같이 동적 가진을 받는 구조물의 소음진동 규명은 실험을 통해 구하는 것이 가장 정확하나, 센서의 유지 또는 형상학적 제한 등의 이유로 실측하는데 어려움이 있다. 반면 수치해석을 이용한 소음진동의 규명은 쉽게 얻을 수 있으나, 정확한 동적 가진신호 없이는 실제와 유사하게 구현하는 것이 매우 어렵다. 이에 실험으로 얻은 몇 점의 가속도 신호와 모드해석의 결과로부터 가진력의 규명 없이 표면의 진동을 구현하고자하는 모드확장기법(modal expansion method)에 관한 연구가 이루어져 왔다. 현재까지의 모드확장기법에 관한 연구는 단순 평판 구조물에 적용되어 왔으나, 본 논문에서는 3차원의 형상을 가지는 압축기에 대하여 모드확장기법을 적용하여 신뢰성 있는 소음진동 결과를 얻고자 한다.

2. 모드확장법의 적용

2.1 모드해석 및 검증

모드확장기법을 이용하여 몇 점의 가속도 신호로부터 신뢰성 있는 압축기 표면의 진동신호를 얻기

위해서는 실제와 유사한 해석의 모드가 먼저 구현되어야 한다. 이에 본 논문에서는 고유모드의 유사성을 나타내는 MAC지표를 이용하여 측정을 통해 얻은 고유모드와 전산해석으로 얻은 고유모드를 비교해보았다. 여기서 MAC은 식(1)과 같이 정의된다.

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

식(1)에서 w_i^{test} 와 w_j^{FE} 는 충격시험과 유한요소해석으로 얻은 고유진동수이고, ψ_i^{test} 와 ψ_j^{FE} 는 고유진동수에서의 실험과 해석의 고유벡터이다. MAC값은 1에 가까울수록 실험과 해석의 모드형상이 유사함을 의미하며, 일반적으로 0.7이상이면 신뢰성 있다고 판단한다. 이 값을 이용하여 실험과 해석을 비교한 결과는 아래의 Table 1과 같다.

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	3495.8 Hz	3510.9 Hz	0.694

위 Table 1의 결과를 살펴보면 전산해석과 실험으로 얻은 모드결과가 일부를 제외하고는 MAC값이 0.6이상으로 해석의 모드가 실험의 모드를 잘 표현하고 있음을 확인할 수 있다. 따라서 2.1절에서 검증된 해석모델을 바탕으로 모드확장기법을 이용하여 몇 점의 실측 가속도 신호로부터 압축기 표면의 진동을 예측하고자 한다.

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

* 부산대학교 대학원 기계공학부

** 국방과학연구소

2.2 모드확장법의 이론

모드확장기법은 측정으로 얻은 신호로부터 실제 구조물의 파라미터를 구현하여 조금 더 신뢰성 있는 결과를 도출하는 방법으로 이론식은 (2)와 같다.

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

여기서 $x(w)_{ij}$ 는 주파수 w 에서 i 점의 j 방향으로의 응답을, $a(w)_k$ 는 k 번째 모드의 기여도를, ϕ_{ijk} 는 k 번째 모드에 해당하는 i 점의 j 방향으로의 고유벡터 값을 의미한다. 위 식을 행렬 형태로 일반화하면 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

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

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 m 은 모드의 수 n 보다 최소한 크거나 같아야 보다 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있다.

2.3 모드확장법의 적용

2.1절의 압축기 전산모델과 2.2절의 모드확장기법 이론을 바탕으로 측정으로 얻은 몇 점의 진동신호로부터 압축기 표면의 진동을 구해보았다. 실측 가속도 신호는 압축기 작동 중에 표면의 20점을 측정해 얻었으며 이를 바탕으로 압축기 표면의 가속도 진동을 구현한 결과는 Fig.1과 같다.

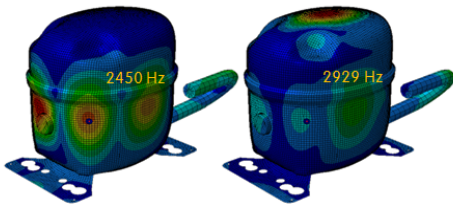


Fig.1 Contour of surface vibration of a compressor

위의 표면진동결과를 이용하여 경계요소법(BEM)으로 표면에서 20cm떨어진 지점에서 음압결과를 예측하고, 실험의 결과와 비교해 보고자 한다.

3. 방사소음해석 및 검증

2.3절에서 모드확장기법으로 얻은 압축기 표면 진동결과와 경계요소법 음향해석 프로그램인 Sysnoise를 이용하여 압축기 작동 중 발생하는 방사소음을 예측해보았다. 그리고 해석과 동일한 상황에서 실험을 수행하여 측정으로 얻은 음압결과와 해석으로 얻은 결과를 Fig.2와 같이 비교해보았다.

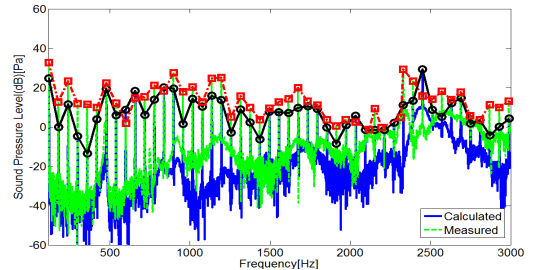


Fig.2 Comparison of SPL induced by a compressor

위 Fig.2에서 점선은 실험의 음압이고 실선은 해석의 음압을 의미한다. 그리고 네모와 동그라미는 각각 실험과 해석의 60Hz 조화성분을 나타낸 것이다. 위 결과에서 실험과 해석의 Overall SPL은 각각 40.97dB와 37.38dB로 약 3dB정도 오차가 발생하며 대체로 해석이 실험을 잘 표현하고 있음을 확인할 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 작동 중 압축기 표면의 일부 진동 신호와 전산에서의 모드결과를 이용하여 모드확장기법으로 압축기 표면 전체의 진동을 예측해보았다. 그리고 예측된 진동결과를 바탕으로 음향해석 툴인 Sysnoise를 이용하여 표면에서 20cm떨어진 지점에서 음압을 계산하고 실험으로 측정한 결과와 비교해보았다. 모드확장기법을 바탕으로 한 해석의 음압결과는 실험의 결과를 잘 표현하고 있으며, 이 기법을 활용하면 해석에서 보다 더 실제와 유사한 현상을 구현하는데 활용할 수 있을 것이라 기대된다.

후 기

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