

스크롤 압축기의 상부 셸 소음 방사 특성 개선 에 관한 연구

°이동수, 이병철, 이승주

A Study on Improvement of the Noise Radiation Characteristics of the Scroll Compressor Shell

D.S. Lee, B.C. Lee, S.J. Lee

1. 서 론

최근 에어컨의 보급이 확대되고 소음에 대한 소비자의 Needs 가 증가함에 따라, 스크롤 압축기의 채용이 확대되고 있다. 이는 스크롤 압축기가 종래의 왕복동 및 로타리 압축기에 비하여 고효율, 저진동, 저소음, 고신뢰성등의 장점을 가지고 있기 때문이다.

흡입 가스로 셸 내부를 채우는 저압식의 스크롤 압축기에서 대부분의 소음이 고압 가스가 토출되는 부분인 상부 셸에서 방사되는 것은 널리 알려진 사실이며, 따라서 이 부분에 대한 개선은 압축기 제조사의 관심거리이다. 통상 상부 셸 내부의 토출 가스의 압력 변동은 운전 조건, 압축부의 구조, 상부 셸 내부 채적에 따라 차이가 있지만 대략 0.3bar 정도이며 이처럼 큰 소음은 상부 셸과 상호 작용하여 외부로 소음이 방사된다. 따라서 상부 셸의 주파수 응답 특성(Frequency Response Characteristics)은 압축기 소음 수준에 지대한 영향을 미치게 된다.

상기와 같은 이유로 상부 셸의 진동 특성은 셸 내부 압축실(Cavity)의 압력에 의한 가진에 대해 저항이 강한 구조를 가져야 한다. 정의에 의해서 stiff한 구조는 동일한 가진력에 대해 적

은 변형을 한다. 이는 상부 셸의 표면 속도가 작아짐을 의미하고 나아가 표면으로부터 소음 방사가 적어짐을 의미한다.

회전체의 동역(Dynamic force)이 케이스 셸과의 용접 라인을 통해서 전달되고 토출가스에 의한 압력 변동이 상부 셸의 안쪽면에 작용한다. 일반적으로 힘과 압력의 크기는 주파수가 증가하면서 감소한다. 또한 상부 셸은 공진 주파수에 해당하는 음을 잘 방사한다. 따라서 상부 셸을 설계하는데 있어 공진 주파수를 가진력이 작은 높은 주파수 영역으로 올리는 것이 일반적이다. 다만 주파수를 결정하는 인자는 형상과 두께, 재질, 물성등 여러 요인이 있으므로 경제성, 생산성 등을 고려하여 결정하여야 한다.

본 연구는 일반적인 구조 해석용 프로그램(ANSYS)으로 여러 형상 인자와 고유진동수 및 모드의 관계를 분석하여 고유진동수에 가장 영향이 있는 인자를 찾아 적은 비용과 짧은 시간 내에 소음 방사가 적은 상부 셸을 설계하는데 목적이 있다.

설계의 순서는 기존의 상부 셸에 대해 구조해석을 실시하여 실험 결과와 비교하였고 이를 근거로 공진 주파수가 높은 새로운 형상의 상부 셸을 설계하였다. 최종적으로 새로 설계된 상부 셸을 제품에 적용하여 소음 개선 효과를 확인하였다.

* LG 전자 디지털 어플라이언스 연구소

2. 현상 분석

Fig 1은 본 연구에 사용된 스크롤 압축기의 단면도 및 기존 상부 셸을 보여준다. 이 스크롤 압축기 1m 상단의 소음 스펙트럼은 Fig 2과 같다. 전체 소음 레벨은 주로 2800Hz 부근의 피크에 의해 주도되는 것을 알 수 있다. 위 방향으로 방사되는 소음은 상부 셸의 공진에 해당하는 주파수의 소음과 상부 셸 내부 압축실의 공명에 의한 소음으로 구분할 수 있으며 과거의 연구로 볼 때 상부 셸의 구조 진동에 해당하는 주파수는 2500Hz 이상의 영역임을 알 수 있고 1000~2500Hz 구간의 소음은 압축실의 공명음으로 판단된다.

이를 확인하기 위해 상부 셸에 대해 진동시험을 실시한 결과 2850Hz의 소음은 상부 셸의 중앙부가 상하로 진동하는 1차 공진 모드(Mode)에 의한 것임을 확인하였다. 따라서 스크롤 압축기의 소음은 상부 셸의 1차 모드가 중요함을 알 수 있다. 압력 변동에 의한 가진력 정보를 알아내기 위해 상부 셸 내부에 압력 센서를 설치하여 압력의 주파수 성분을 계속하였다. 그 결과를 Fig 3에 나타내었다. 가스 압력에 의한 가진력은 700Hz 아래에 주로 집중되어 있음을 알 수 있으나 2700~2800Hz 부근에도 압축실의 공명과 관련이 있는 것으로 보이는 피크가 존재하고 있다. 기존 상부 셸의 경우 이 주파수 대역과 상부 셸의 1차 공진주파수가 일치하여 소음이 커졌음을 알 수 있다.

따라서 상부 셸의 1차 모드진동수를 4000Hz 이상으로 설계하는 것이 이상적이며 최소한 3500Hz 이상으로는 설계하여야 함을 알 수 있다. 이는 토출 가스의 가진력 주파수를 감안할 때 소음에 상당히 불리한 것을 알 수 있다.

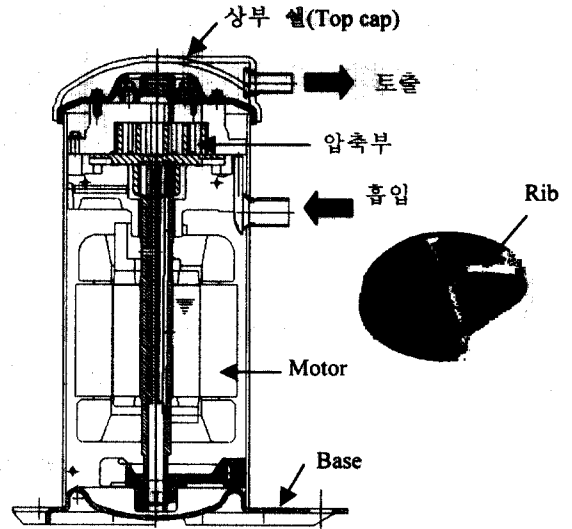


Fig 1. Scroll Compressor 단면도 및 상부 셸 형상

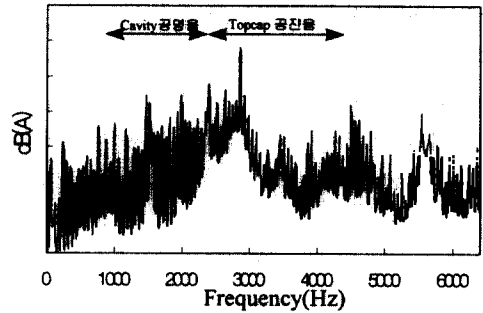


Fig 2. 기존 스크롤 압축기의 상부 셸 방사소음

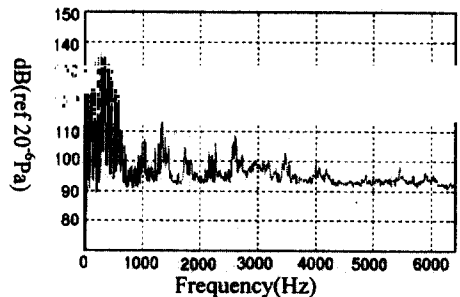


Fig 3. 상부 셸 내부 가스 압력의 주파수 분석

3. 이론 해석

우선 해석의 정확성을 확인하기 위해 기존 상부 셸을 모델링(modeling)하여 해석을 실시하고 실험 결과와 비교 평가하였다. 해석은 상부 셸과 케이스의 용접부를 전방향으로 구속하고 엘리먼트(Element)는 Shell63 으로 하였다.

실험에 의한 1차 모드의 공진 주파수는 2850Hz, 해석에 의한 결과는 2900Hz로 상당히 근접한 결과를 얻었다.

Fig 4 처럼 공진주파수에 영향을 미치는 인자로 셸 두께, 상면의 중앙에서 토출구에 이르는 곡률반경, 상부 셸의 높이, 토출 포트 근방의 벌어지는 각도등을 고려할 수 있다.

이중 두께의 영향을 평가하기 위해서 기존 3.2t에서 4.5t로 변경하여 해석을 실시하였고, 또한 기존에 상부 셸 상면에 있던 4개의 리브(Rib)를 제거하고 해석을 실시하였다. 해석 결과는 다음 Fig 5-(a)와 같으며 상면에 설치된 리브는 강성을 떨어뜨려 1차 모드를 약 350Hz 정도 낮추는 역할을 하나 고차 모드로 가면서 기존 형상과 거의 동일한 결과를 주었다. 두께 증가에 의한 주파수 증가는 약 350Hz 정도로 전 모드에서 균일한 주파수의 증가를 가져왔다. 이상의 분석에 따르면 1차 모드의 주파수를 3500Hz 이상으로 올리기 위해서는 두께와 형상 변경을 병행할 필요가 있다.

상부 셸의 두께, 곡률반경을 고정하고 토출구 각도를 변경하면서 해석을 실시한 결과는 Fig 5-(b)와 같다. 벌어짐 각도와 각 모드의 주파수는 일정한 관계는 없는 것으로 판단되며 특히 1차 모드에는 거의 영향이 없었다.

상면의 중앙에서 토출구에 이르는 곡률반경을 변경하면서 고유진동수의 변화를 계산한 결과 곡률반경은 약 800Hz의 공진주파수를 상승

시킬 수 있었고 어떤 값 이상에서는 반경이 작아져도 주파수 증가 효과가 미약하였으며 고차 모드로 갈수록 주파수 변화 폭은 작아졌다.

상부 셸의 높이는 상부 곡률반경과 관련이 있으므로 가장자리부의 원통부의 길이를 증가시키면서 공진주파수의 변화를 관찰하였다. 해석 결과 높이가 높아지면 고유진동수가 낮아졌다. 길이의 증가는 압축기 전체의 길이와 관련이 있으므로 가능한 낮은 것이 좋으나 압축실 내부의 압력 변동과 같이 고려해야 한다.

위와 같이 다각도로 상부 셸의 공진주파수를 계산한 결과 가장 민감한 인자는 상면부의 곡률반경 R이며 기타 두께나 높이가 유사한 수준의 영향도를 가지고 토출구 부근의 벌어짐 각도 등은 큰 영향은 없는 것으로 판단된다.

따라서 공진주파수가 높은 상부 셸을 설계하기 위해서는 상면의 곡률반경을 작게 설정하고 높이는 낮게, 벌어짐 각도는 큰 영향도는 없으나 상면의 곡률반경이 결정된 상태에서 공진주파수가 최대로 되는 각도를 선정하는 것이 바람직하다. 위와 같은 설계 조건은 토출파이프를 장착하기 위한 적절한 공간의 확보가 가능한지 여부와 두께 증가에 따른 원가 상승 같은 문제에 의해서 제한을 받는다.

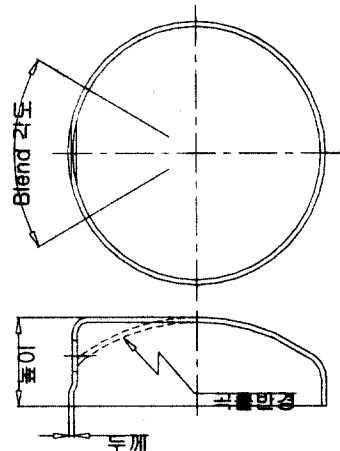


Fig 4. 상부 셸 공진 주파수에 영향을 주는 인자들

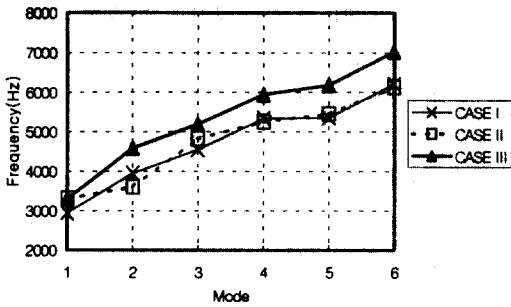


Fig 5-(a) 셸 두께 및 리브(Rib)에 따른 Modal 주파수 변화

CASE I : 기존 상부 셸(3.2t),

CASE II : 기존 셸에서 rib 제거(3.2t),

CASE III : 기존 상부 셸의 두께를 4.5t로 변경

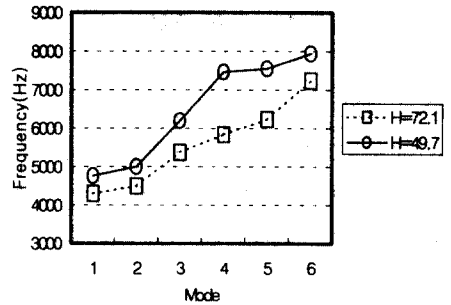


Fig 5-(d) 상부 셸 높이에 따른 공진 주파수 변화

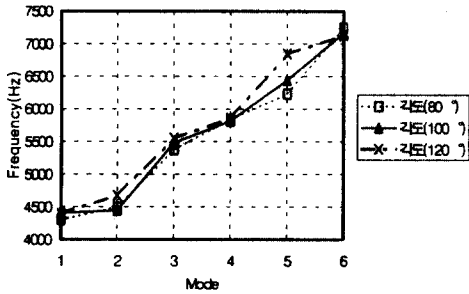


Fig 5-(b) 토출구 벌어짐 각도에 따른 진동수 변화

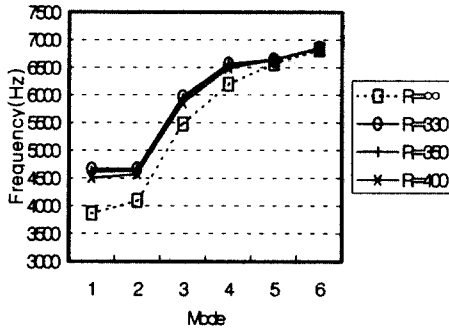


Fig 5-(c) 상부 셸 곡률반경에 따른 공진 주파수 변화

4. 설계 평가

위의 결과를 근거로 상부 셸의 1차 공진 모드 주파수가 3500Hz 이상이 되도록 설계하여 공진주파수 증가에 따른 효과를 확인하고자 하였다. 새로 설계된 상부 셸의 사양은 두께 3.2t, 셸의 높이 49.7, 상면 곡률반경 128mm, 상면의 중앙에서 토출구에 이르는 곡률반경은 토출 파이프의 장착 공간 확보를 위해 수평이 되게 설계하였다.

상부 셸을 제작하여 1차 공진주파수를 측정된 결과 3.8kHz로 3.5kHz 이상으로 설계하려던 수준으로 주파수를 올릴 수 있었다. 새로 설계한 상부 셸의 형상은 Fig 6 과 같으며 모드별 형상은 Fig 7 과 같다.

위 결과로부터 알 수 있듯이 기존의 상부 셸은 공진주파수가 2850Hz로 압력에 의한 가진 성분과 일치하여 이 주파수 대역에서의 소음레벨이 상당히 높았으나 개선된 상부 셸은 동일한 두께라도 형상을 변경하여 강성을 올림으로서 공진주파수를 약 1kHz 정도 상승시켜 3.8kHz로 상승시켰으며 이에 따라 3kHz 부근의 소음은 약 15dB 이상 줄었으며 개선 상부 셸의 공진 주파수 부근에서는 기존보다 약간 소음이 상승하나 압축기 전체의 sound power level 은 평균 3dB 정도 저감되었다.

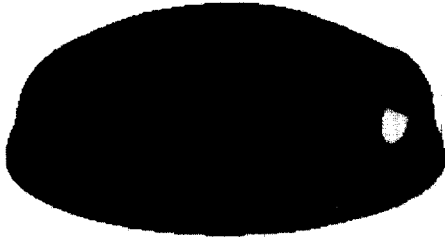


Fig 6. 새로 설계된 상부 셸 형상



1 차 모드 2 차 모드 3 차 모드

Fig 7. 새로 설계된 상부 셸의 모드 형상

기존 상부 셸과 새로 설계된 상부 셸 소음을 Fig 8 에서 비교하였다.

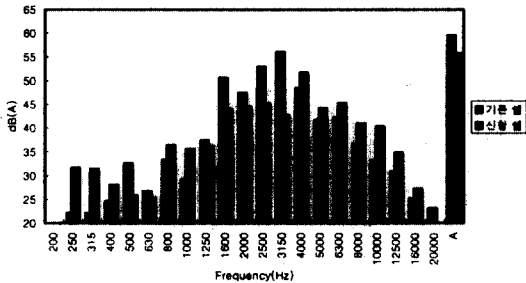


Fig 8. 기존 상부 셸 및 개선 상부 셸의 소음 비교

5. 결 론

본 논문에서는 스크롤 압축기의 가장 중요한 소음 방사 부품인 상부 셸에 대하여 해석적인 틀을 사용하여 소음 방사가 적은 형상을 설계하였다. 이를 위하여 기존 제품에 대한 이론적인 해석과 실험 결과를 서로 비교하여 해석의 정밀도를 먼저 평가하고 이를 바탕으로 공진주파수에 영향을 미치는 인자로 셸 두께, 곡률 반경, 높이, 토출파이프 부근의 벌어진 각도등을 선정하였고 각각의 기여도를 비교하였다. 비교 결과는 다음과 같다.

- 1) 상부 셸의 공진 주파수는 1차 공진 모드가 최소 3500Hz 이상으로 설계되어야 압축실의 가진력과 분리되어 소음 방사가 작다.
- 2) 상부 셸의 공진 주파수에 영향도는 상부 곡률 반경, 두께, 높이의 순서이고 다른 인자는 영향도가 작다.
- 3) 상부에 리브(Rib) 설치는 강성을 낮게하여 1차 공진 주파수를 낮춘다.
- 4) 두께 증가에 의한 공진 주파수 증가는 전 모드에서 균일하게 커지는 경향을 보이나 곡률반경에 의한 영향은 초기 모드에서 크고 모드가 올라가면 영향도가 작다.
- 5) 이론적인 해석과 실험 결과가 잘 일치하므로 본 연구의 방법을 사용하면 적은 개발비용과 시행착오로 소음 방사가 적은 상부 셸을 설계할 수 있다.

참 고 문 헌

- (1) "The compressor noise-shell and steel materials", Hideki Kawai, Hiroshi Sasano, Ichiro Kita, Toshihiko Ohta, MATSUSHITA
- (2) "The effect of the dome shape of a hermetic compressor housing on sound radiator", D.R.Gilliam and M. A. Diflora, Bristol compressor