

선형압축기 밸브시스템의 유체-구조 연성 유한요소해석

Fluid-structure-interacted Finite Element Analysis of Valve System in a Linear Compressor

최용식*·이준호*·정의봉**·정철웅**
Yongsik Choi, Junho Lee, Weuibong Jeong and Cheolung Cheong

Key Words : valve system(밸브시스템), Fluid-structure interaction(유체-구조 연성), Linear compressor(선형 압축기)

ABSTRACT

In this paper, computational analysis on the steady-state and transient behaviors of the valve system is discussed. Fluid-structure interaction (FSI) is taken into account using ADINA software. The computational results are experimentally validated.

1. 서론

압축기는 응축기, 증발기, 팽창밸브와 더불어 냉장고의 성능을 결정하는 중요한 부품 중의 하나이다. 특히, 선형압축기는 직선운동하는 피스톤을 통해 변환손실을 줄인 고성능 압축기 모델로서, 실린더 내부의 체적과 압력을 변화시켜 냉매를 흡입, 토출하는 밸브시스템으로 이루어져있다. 그러나 선형압축기는 여전히 냉장고의 주요 소음원이다. 본 연구에서는 이를 규명하기 위해 실험과 해석을 이용하여 밸브시스템의 동적거동을 예측하였다. 대 변형하는 밸브와 유체의 압력 맥동의 상호 영향을 고려할 수 있는 연성해석을 수행하였으며, 연성해석에 신뢰성이 높은 상용소프트웨어인 ADINA 를 사용하였다. 실험결과를 이용하여 해석결과를 입증하였다.

2. 유체-구조 연성해석

선형압축기는 피스톤, 피스톤에 부착된 흡입밸브, 토출밸브, 코니컬스프링, 토출커버(1 차 커버, 2 차 커버), 태플론 등으로 구성된다(Fig. 1 and Fig. 2). 구조해석영역은 Fig. 3 과 같이 피스톤 팁, 흡입밸브, 토출밸브로 구성하였으며, P₁, P₂, P₃ 세 점에서의 변위를 계산하였다. 피스톤 팁은 60Hz full 스트로크로 움직이게 된다. 코니컬 스프링은 초기에 stopper 에 의해 압축된 상태로서 preload 를 가지게 되며, 그에 상응하는 정적 힘을 토출밸브의 한 점에 스프링의 복원력 방향으로 가하였다. TDC(Top dead center) 는 흡입밸브와 토출밸브 사이의 최소거리이다. 유체 해석영역은 피스톤 팁에서 토출 커버에 이르는 구조의 내부에 차 있는 유체로서, Fig. 4 와 같이 흡입부, 확장부, 토출부(1 차 영역, 2 차 영역) 유체로 구성하였으며, A, B, C 세 점에서의 압력을 계산하였다. 유

체모델은 층류유동으로 정의하였으며, 열전달을 고려한 압축성 유체로 모델링하였다. 작동유체는 기체 상태의 R134a 냉매이다. 구조 모델은 3 자유도 강체로 모델링하였으며, 흡입밸브와 토출밸브, 흡입밸브와 피스톤 그리고 토출밸브와 stopper 사이에 접촉 조건을 적용하였다. 유체 영역은 밸브의 개폐에 의해 연결되거나 분리되며, 이를 고려하기 위해 각 밸브에 Gap 조건을 적용하였다. 유체-구조 연성경계 조건은 구조의 흡입부, 토출부와 이에 접하는 각 유체면을 짝을 지어 정의하였다(see Fig. 3 and Fig. 4). 유체영역의 흡입부와 토출부, 내부영역의 초기압력과 초기온도는 실험결과를 이용하였다. 구조, 유체모델을 각각 정의한 후, 이를 iterative 결합 방법을 이용하여 연성해석하였다.

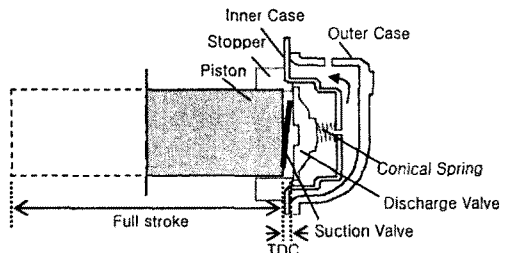


Fig. 1. The linear compressor system

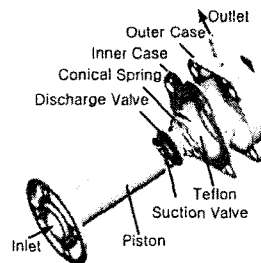


Fig. 2. A typical valve system

* 부산대학교 대학원 기계시스템설계
.. 부산대학교 기계공학부

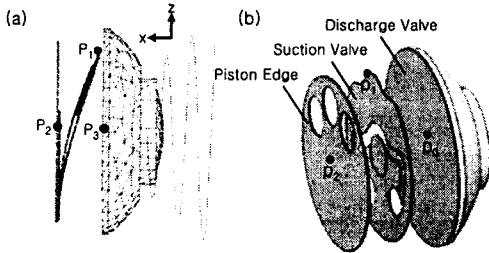


Fig. 3. Structure domain and calculated points

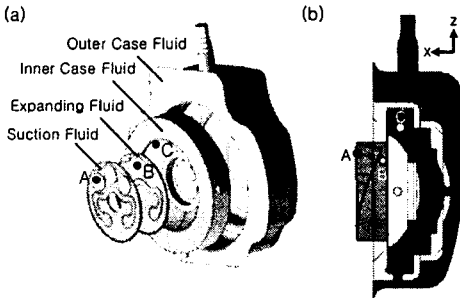
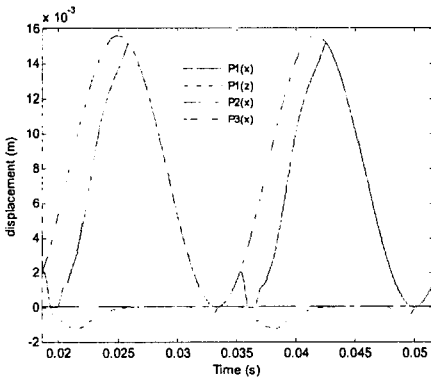


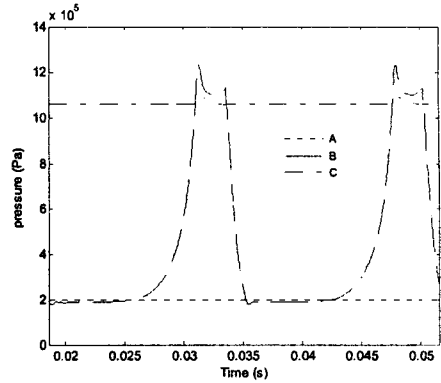
Fig. 4. Fluid domain and measured points

3. 결과

Fig. 5는 해석결과로서 구조의 변위와 유체의 압력 분포의 관계를 나타내고 있다. A점의 압력이 B점의 압력보다 높아질 때 흡입밸브가 열리며, B점의 압력이 C점의 압력보다 높아질 때 토출밸브가 열리는 것을 알 수 있다. 이로서 물리적으로 타당한 결과임을 확인하였다. 그리고 B점의 압력변화를 실험결과와 비교하여 Fig. 6과 같이 매우 유사한 결과를 얻을 수 있었으며, 해석결과의 유효성을 입증하였다.



(a) Displacement in structure domain



(b) Pressure in fluid domain

Fig. 5. Dynamics of structure and fluid

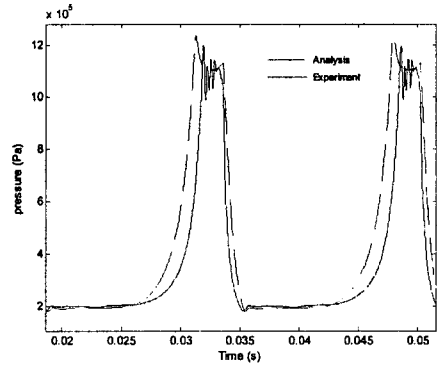


Fig. 6. Comparison between experiment and computational analysis on the pressure at point B

4. 결론

본 논문을 통해 유체-구조 연성을 고려하여 선형 압축기 밸브시스템의 동적거동을 예측하였으며, 실험결과와 매우 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

추후 연구를 통해 압축기 밸브시스템의 소음저감 방안 마련을 위해 여러 인자의 특성을 더욱 세부적으로 조사할 필요가 있다.

후 기

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신 인력양성사업으로 수행된 연구결과입니다.