

# 유한요소 모델을 이용한 압축기의 진동특성에 관한 연구 A Study of Vibration Characteristics of Compressors with FEM model

주 정 함\*·황 원 곁\*\*·최 기 섭\*\*·류 기 오\*\*\*·서 문 희\*\*\*  
Jung-Ham Ju, Won-Gul Hwang, Gi-Seob Choi, Ki-O Ryu, Hee Seomoon

Key Words : Reciprocating Compressors(왕복동 압축기), FEM model (FEM 모델), Flexible body (유연체).

## ABSTRACT

Today, as the demands for home appliances are increasing, the understanding of noise and vibration characteristics have become more important. It is hard to control its vibration and noise characteristics, because its mechanical structure is very complex. In this study a model of reciprocating compressor is developed. Spring, frame, and LDT are modeled as flexible body, and the other parts are modeled as rigid. FEM model of frame is simplified in order to save the simulation time. We validated the simple model by comparing their natural frequencies and mode shapes. Motor torque is applied to a rotor, and the piston is subjected to a gas pressure. The vibrational characteristics of compressor is analyzed with LS-DYNA. Its results are compared with the simulation results of rigid body frame. The effect of LDT is also studied by comparing the vibration of frame with the results of simulation with no LDT.

## 1. 서 론

소비자들의 요구가 고급화 되고 다양화 되면서 소음과 진동이 제품을 선택하는데 있어 중요한 척도가 되어가고 있다. 냉장고의 질적 향상에 있어서도 저소음화, 저진동화는 필수적이나, 그 동안 많은 기술발전에도 불구하고 여전히 개선해야 할 많은 문제점을 가지고 있다. 왕복동 압축기도 성능뿐만 아니라 소음/진동 문제 또한 제품의 수준을 평가하는 중요한 인자로서 이에 관한 체계적인 현상파악과 대책 수립이 필수적이다. 압축기의 소음/진동을 저감하기 위해서는 소음/진동의 원인인 기구부의 운동특성을 파악하고 이의 영향을 분석하여야 한다. 본 연구에서는 프레임, 프레임을 지지하고 있는 스프링, LDT 를 유연체(Flexible body)로 모델링하고, LS-DYNA 를 이용하여 시뮬레이션하고 진동특성을 파악하였다. 또한 강체 프레임의 경우와 비교하여 유연체 프레임의 진동특성을 분석하였다.

## 2. 유연체 모델

### 2.1 압축기 모델

압축기의 기구부는 샤프트, 커넥팅 로드, 피스

톤, 피스톤 핀, 및 프레임과 이를 지지하는 스프링으로 구성되어 있다. 압축기의 모델링의 기준 좌표계는 샤프트의 회전축과 4 개 스프링의 최 하단부분이 이루는 평면과 만나는 점을 원점으로 하고, Z 축은 샤프트 회전축과 일치시키고 피스톤의 왕복 운동 방향을 X 축으로 설정하였다. 모든 부품을 격자를 가진 유연체로 모델링하여 시뮬레이션하는 것이 가장 이상적이지만 계산에 소요되는 시간과 실제와 같지 않은 비정상적인 유연체의 거동등 예기치 않은 결과를 초래할 수 있다. 따라서 적절한 강체 가정과 격자 모델의 단순화는 오히려 압축기 진동 특성에 대한 보다 정확하고, 효율적인 예측을 가능하게 해준다.

본 연구에서는 압축기 기구부의 프레임, 커넥팅로드, LDT, 그리고 스프링은 유연체로, 피스톤, 피스톤 핀, 샤프트, 카운터 웨이트, LDT 커버, 로터는 강체로 모델링하였다. 진동/소음의 중간매개체인 프레임은 1 차 해석에서 강체로 가정하여 압축기 전체적인 운동 특성을 고찰하고 이후 유연체로 모델링하여 계산하였다. 압축기의 프레임을 지지하는 4 개의 스프링은 기준좌표계 축방향의 병진운동과 축중심의 회전운동이 가능한 6 자유도를 갖는 유연체로 모델링 하였다.

기구부의 운동을 표현하기 위해서는 운동조건을 고려한 조인트의 모델링을 통해서 운동을 구속해야 한다. 본 연구에서는 유연체로 모델링이 된 프레임에 실린더 내면에 절점을 공유하는 강체 실린더면을 만들어 강체 피스톤과 원통조인트를 적용하여 왕복운동을 할 수 있게 하였고, 피스톤 핀과 피스톤, 커넥팅로드와 피스톤 핀은 구형조인트를 만들어 구속하였다. 커넥팅로드와 원통조인트로 연결하였으며, 샤프트는 회전조인트로 연결

\* 전남대학교 기계공학과

E-mail : jong2h1@chonnam.ac.kr

Tel : (062) 530-0211, Fax : (062) 530-1689

\*\* 전남대학교 기계시스템공학부

\*\*\* 삼성광주전자㈜

하였다. 그림 1 은 LS-DYNA 에서의 기구부 조인트를 나타낸다.

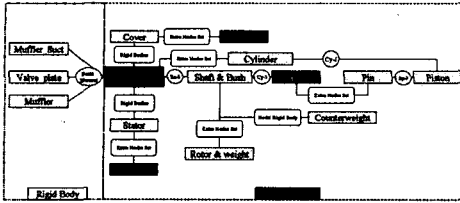


Fig.1 LS-DYNA modeling map

## 2.2 단순화 모델

CAD 데이터를 기초로 FEM 모델링을 할 때 형상에 있는 필렛등 복잡한 형상으로 인하여 격자요소의 종류와 크기에 제한이 따르게 된다. 다음 표 1 은 두 FEM 모델에 사용된 요소의 성질을 나타내고 표 2 는 CAD 모델과 육면체요소를 사용한 단순화된 FEM 모델의 물성치를 나타낸다.

Table.1 FEM 모델의 비교

	요소	요소 개수	절점 개수
FEM 모델	Tetragonal Solid	6149	2053
단순화된 FEM 모델	Hexagonal Solid	1100	1951

Table.2 FEM 모델과 단순화모델의 물성치 비교

물성치 모델	무게중심 (x, y, z)	관성모우먼트 ( $I_{xx}, I_{yy}, I_{zz}$ )	중량 ( $kg_f$ )
CAD 모델	16.17, 3.84, 115.07	25915, 26818, 5060	1.764
FEM 모델	16.63, 3.98, 115.34	26900, 27640, 5337	1.764
단순화된 FEM 모델	14.13, 4.13, 112.54	24729, 25389, 4620	1.764

지나치게 많은 요소와 절점의 사용은 시뮬레이션에 어려움을 가중시키므로 본 연구에서는 질량, 무게중심의 위치, 관성모우먼트등의 물성치가 CAD 모델과 큰 차이가 없도록 점차 단순화시키면서 FEM 모델링을 하였다. 또한 보다 적은 개수의 격자요소로 FEM 모델링을 하기위하여 CAD 형상에 구획 분할하여 구획별로 단순화하고 격자 생성이 쉽지 않은 실린더, 토출방, 샤프트 홀은 다각형으로 변경하였다. 시뮬레이션을 위해 생성한 프레임의 단순화된 FEM 모델은 그림 2 와 같다.



(a) FEM Model (b) Simple FEM Model  
Fig.2 Compressor Model

단순화된 모델이 시스템의 동적현상을 정확히 표현가능한지 판단하기 위하여 FEM 모델과 단순화된 FEM 모델의 고유진동수와 모우드형태를 비교하였다. 비교결과는 표 3 과 같으며 두 모델 모두 동일한 모우드 형태를 보이고 있음을 확인하였다. 고유진동수는 주파수가 높아질수록 차이가 조금씩 커지나 5kHz 이하에서는 5%이하의 오차를 갖는다.

Table.3 FEM 모델의 고유진동수 비교내용

Mode No.	FEM Model (kHz)	Simple FEM Model (kHz)
1	1.74	1.71
2	2.79	2.91
3	3.20	3.15
4	4.87	4.88
5	5.30	5.17
6	5.68	5.60
7	6.08	6.43
8	6.49	6.76
9	6.71	7.43

## 3. 시뮬레이션

### 3.1 입력조건

LS-DYNA 를 이용해서 압축기 모델을 시뮬레이션을 하기 위해서는 모터 토오크를 회전부에 가해져야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 샤프트와 일체로 연결된 로터에 그림 3 과 같은 토오크를 입력하여 압축기가 구동되도록 하였다.

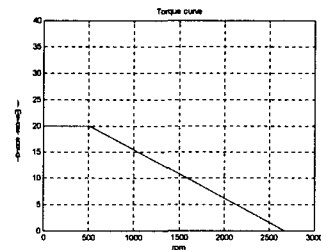


Fig. 3 모터 토오크 곡선

실린더의 내부에 작용하는 냉매 토출압력은 샤프트의 회전각도 변화에 따른 피스톤에 작용하는 힘으로 그림 4 와 같이 적용하였다. 실험을 통하여 구한 압력 데이터는 하사점 압력이 흡입압력이 되도록 보정하고 절대압력으로 입력하였다. 토출 최대압력은  $7.332 \text{ kg}_f / \text{cm}^2$ 이다.

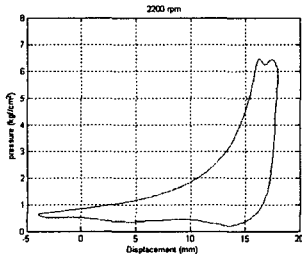


Fig. 4 변위에 따른 실린더 내부 압력

### 3.2 유연체 프레임의 시뮬레이션

압축기가 초기 조건 0 rpm 에서 기동되어 정상 상태에 이르기까지 약 0.31 초가 소요되며 샤프트의 평균 회전속도는 2201.85rpm 이다. 압축기의 무게중심에서의 z 방향 최대변위는 약 -8.49mm 이고 시간이 지나 압축기가 정상회전상태에 도달하게 되면 z 축 방향의 변위는 -5.06mm 에 수렴한다.

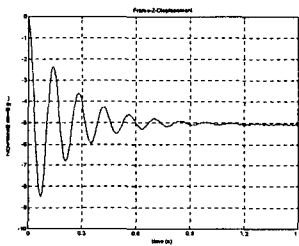


Fig. 5 프레임 무게중심의 변위

프레임의 진동을 평가하기 위하여 그림 6 과 같이 실린더 상부절점 (64.59, 1.32, 153.70)에 진동측정점을 선정하였다. 그림 7 은 진동측정점에서의 프레임의 가속도를 나타낸다.

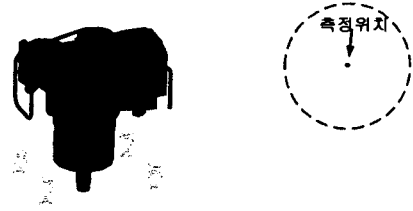


Fig. 6 가속도 측정 위치

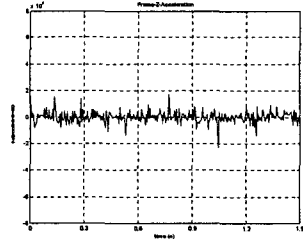
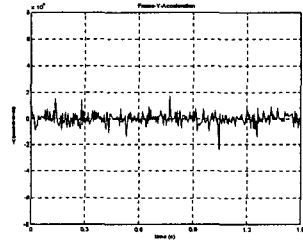
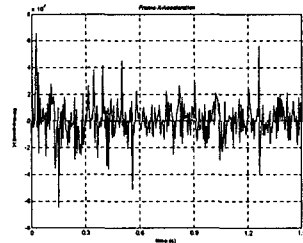


Fig. 7 유연체 모델의 프레임 가속도

피스톤의 왕복 운동시 실린더 내면과 피스톤 사이에서 작용하는 반력을 살펴보면 그림 8 과 같고 이 힘은 피스톤 측압으로 작용한다

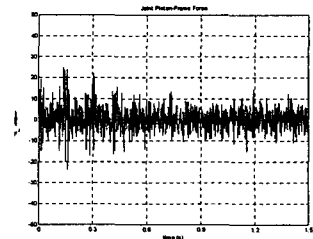


Fig. 8 실린더와 피스톤 사이에 작용하는 힘

### 3.3 강제 프레임의 시뮬레이션

프레임을 강체로 모델링하여 그 결과를 유연체 프레임의 결과와 비교하여 보았다. 그림 9는 강제 프레임의 경우의 진동측정점에서의 가속도를 나타내고 있다. 유연체 프레임의 y와 z 방향 가속도는 강체의 경우보다 크고 고주파성분까지 나타나 있어 유연체 모델의 효과를 볼 수 있다.

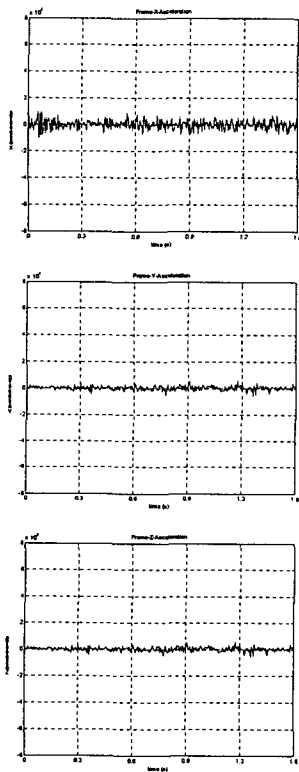


Fig. 9 강제모델의 프레임 가속도

### 3.4 LDT 제거시 시뮬레이션

LDT가 압축기에 미치는 영향을 검토하기 위하여 LDT를 제거하고 시뮬레이션하였다. 정상회전상태에서 압축기의 무게중심에서 측정한 z 방향 변위가 5.44mm에 수렴하여 LDT를 적용한 모델에 비해 0.38mm 더 처짐이 발생하였다. 이 결과는 LDT가 프레임에 스프링작용을 하는 것을 알 수 있다. 그림 12는 진동측정점에서의 가속도를 나타내고 LDT를 제거함으로써 프레임의 가속도가 두배이상

커짐을 보인다. 또한 기동 후 0.3초 이상 경과한 정상회전상태에서도 프레임의 가속도가 크게 변동하는데 이와 같은 결과는 압축기 진동을 저감하는 LDT의 댐핑효과를 나타낸다.

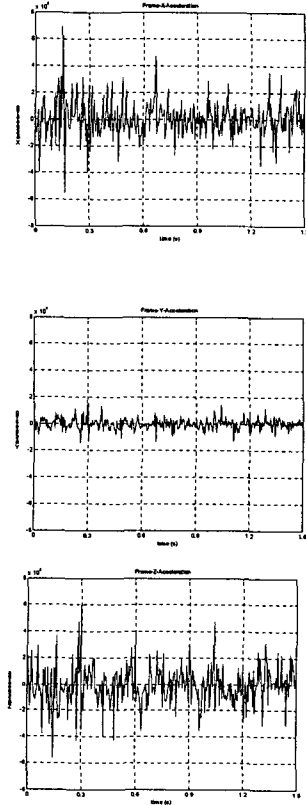


Fig. 12 측정점에서의 프레임 가속도

## 4. 결론

압축기의 진동/소음을 감소하기 위하여 동특성을 파악하고 이에 대한 영향을 분석하기 위하여 본 연구에서는 압축기의 프레임, 스프링, LDT를 유연체로 모델링하여 기구부와 조인트 요소로 연결하였다. 이와 같이 모델링된 압축기를 이용하여 강제 프레임, 유연체 프레임과 LDT의 형상이 압축기의 소음/진동에 미치는 영향을 비교 및 분석하였다. 본 모델은 향후 압축기 설계에 있어서 진동 개선에 방향을 제시할 수 있을 것으로 사료된다.

## 후 기

본 연구는 2004 년도 두뇌한국 21 사업에 의해 수행된 연구 결과이며 지원에 감사 드립니다

## 참고문헌

- (1) 김태중, “왕복동형 압축기 피스톤의 동적 거동 해석,” 한국소음진동학회논문집, 제 12 권 제 9 호.
- (2) 고병승, “왕복동 압축기의 동특성 분석 및 진동 개선에 관한 연구,” 전남대학교 석사학위 논문, 2004.
- (3) 양희준, 이주성, 김한덕, “내연기관,” 진영사, 1998.
- (4) 김민철, “유연 다물체 동력학 해석에 있어서의 변형 모드 선정에 관한 연구,” 아주대학교 석사학위 논문, 2001.
- (5) 안기원, “유연 다물체 동력학 모델을 이용한 차량의 동응력 해석에 관한 연구,” 전남대학교 박사학위 논문, 1998.
- (6) R. Dufour, J. Der Hagopian and M. Lalanne “Transient and Steady State Dynamic Behavior of Single Cylinder Compressor: Prediction and Experiments,” Journal of sound and Vibration 181(1), pp. 23-41, 1995