

# 단순화 된 선형 압축기 흡입부의 시간-주파수 특성 파악

## Time-frequency analysis on the simplified intake assembly of a linear compressor

김태균\*, 이정권†, 박수호\*\*, 기성현\*\*, 이 혁\*\*

Tae-Kyoon Kim, Jeong-Guon Ih, Su-Ho Park, Sung-Hyun Ki and Hyuk Lee

### 1. 서 론

냉장고 등에서 냉매 압축을 위해 사용되는 선형 압축기 흡입부의 시간-주파수 특성을 파악하기 위하여 비선형 수치 모델의 일종인 특성 곡선법을 이용하였다. 특성 곡선법은 내연기관 엔진의 해석에 널리 사용된 바 있다<sup>(1-3)</sup>. 본 연구에서는 선형압축기 흡입부의 상세 해석의 선행 작업으로써, 특성곡선법의 적용성 검토를 위하여 흡입부를 저장계-밸브-덕트로 단순화하였고, 밸브 주파수 및 밸브면적함수를 실제 측정값을 바탕으로 모사하여 관내 특정 지점의 압력 이력을 예측하고 가칭화 하는 일련의 방법론에 대해 검토하였다.

### 2. 특성 곡선법

#### 2.1 이론적 배경

특성 곡선법은 음향계의 시변 및 비선형 해석에 사용되는 방법으로 유체의 편미분 방정식을 상미분 방정식으로 변환하여 해석한다. 유체 지배 방정식을 무차원 변수를 도입하고 마찰 계수 및 열전도를 무시하면 다음과 같이 표현할 수 있다<sup>(4)</sup>:

$$dP = 0 \text{ at } dX / dZ = U + A, \tag{1}$$

$$dQ = 0 \text{ at } dX / dZ = U - A, \tag{2}$$

$$dA_0 = 0 \text{ at } dX / dZ = U. \tag{3}$$

식 (1-3)에서  $P, Q, U, A$ 는 각각 임의의 기준 음속  $a_{ref}$ 로 무차원화된 입사파, 반사파, 입자 속도와 음속을 나타낸다. 식 (1-3)의 상미분 방정식은 선형 보간법으로 해를 구할 수 있으며, 관내 임의 지점에서의

입사파와 반사파는 다음과 같이 표현할 수 있다:

$$p_+(t) = p_{ref} \left( \frac{1+P}{2} \right)^{2\gamma/(\gamma-1)}, \quad p_-(t) = p_{ref} \left( \frac{1+Q}{2} \right)^{2\gamma/(\gamma-1)}. \tag{4}$$

#### 2.1 특성 곡선법의 적용 및 가칭

특성 곡선법의 적용을 위하여, 압축기 흡입부를 그림 1과 같은 저장계-밸브-덕트로 이루어진 유체기계 모델로 단순화 하였다.

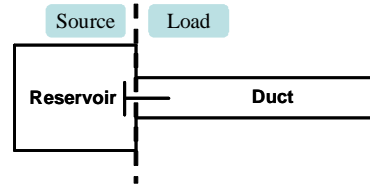


Fig. 1. Simplified intake system of linear compressor.

특성곡선법의 입력으로 사용되는 밸브면적함수는 측정된 밸브 간극과 푸리에 시리즈를 이용하여 모사하였다. 그림 2(a)는 밸브 간극의 측정치이고, 밸브 주기는 59 Hz이며, 그림 2(b)는 측정치의 주파수 영역 값이며, 피크 주파수들은 59 Hz의 고조파 성분들이다.

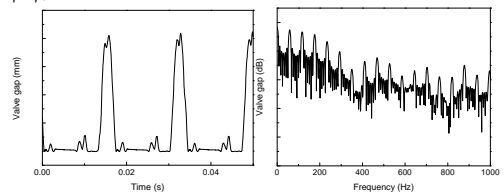


Fig. 2. Measured valve gap. (a) Time domain, (b) frequency domain.

밸브 간극 측정치를 바탕으로 밸브면적함수를 모사하기 위하여 그림 2(b)에서 선택된 피크 주파수들의 푸리에 상수를 이용, 시간 영역의 밸브면적함수를 구하였다. 이때 사용된 푸리에 상수들은 저차 고조파와 고차 고조파를 함께 사용하였으며, 모사된 밸브 면적함수는 그림 3과 같다. 그림 3(a)를 통해 고차 고조파를 포함시켜 모사한 경우, 실제 측정치에 존재하는 ripple을 보다 근사적으로 모사함을 알 수 있다. 그러나 그림 3(b)에서 측정치와 모사치의

† 교신저자; 이정권 (정회원), 한국과학기술원 소음 및 진동제어 연구센터

E-mail : J.G.Ih@kaist.ac.kr

Tel : 042-350-8211, Fax : 042-350-8220

\* 한국과학기술원 소음 및 진동제어 연구센터

\*\* LG 전자 가산 R&D 캠퍼스 HA 연구소

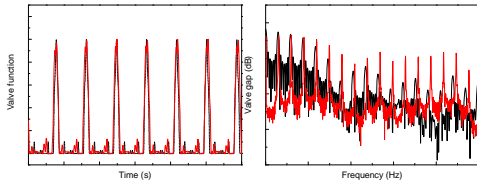


Fig. 3. Comparison of valve area function: —, Measured; — · —, reproduced. (a) Time-domain, (b) frequency-domain.

피크 주파수 차이가 있음을 알 수 있는데, 이는 측정치의 피크 주파수가 정확하게 59 Hz의 고조파가 아니기 때문이다.

### 3. 압력의 시간 및 시간-공간이력 예측

#### 3.1 압력의 시간 이력 예측 결과

2장의 이론과 가정을 바탕으로 그림 1의 유체기계 모델의 밸브 전방에서의 압력 이력을 계산하였다. 그림 4의 파형은 두 가지 주기를 가지며, 밸브 입력 주파수에 해당하는 59 Hz와 덕트 길이에 해당하는 음향공명주파수인 485 Hz이다. 그림 4에서 밸브 개방 시 압력이 감소하는 것을 관찰할 수 있으며, 저장계 압력이 덕트 압력보다 작기 때문이다. 또한, 밸브 전방에서의 압력은 밸브가 닫히는 순간 최대값을 가지며, 이는 밸브가 닫히면서 밸브전방지점에서 밀파가 생성되기 때문이다.

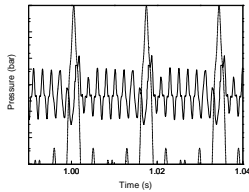


Fig. 4. Pressure history at the valve (duct side): —, Pressure history; — · —, valve area function.

#### 3.2 압력의 시간-공간이력 예측 결과

각 지점에서 계산된 입사파, 반사파를 이용하면 그림 5와 같이 압력파의 시간-공간 변화 이력을 시각적으로 알 수 있다. 밸브 개방 시 압력파가 저장계로부터 방출되어 관내를 전파한 뒤, 덕트 종단에서 반사되는 것을 알 수 있다. 따라서 관내 특정 지점에서의 압력 이력은 입사파와 반사파의 합으로 구하며, 이를 이용하여 가칭화를 할 수 있다.

### 4. 결 론

본 논문에서는 선형압축기 흡입부 밸브가 맥동적

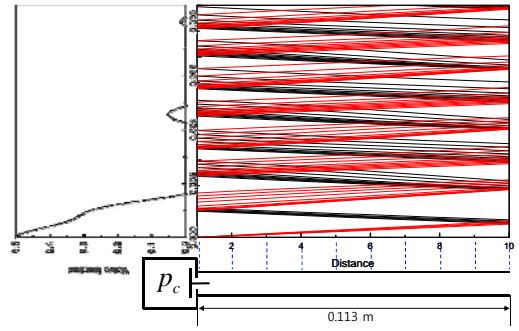


Fig. 5. Time-frequency history of pressure wave in duct: —, Incident wave; — · —, reflected wave.

으로 작동할 시 생성되는 압력파의 시간-주파수 특성을 비선형 수치 모델인 특성곡선법을 사용하여 해석하였다. 측정된 밸브 간극으로부터 밸브면적함수를 모사하였고, 이를 적용하여 압력파의 관내 압력 이력 및 시간-공간 이력을 예측하였다. 그 결과, 입력으로 사용된 밸브면적함수 및 덕트 길이에 해당하는 주파수 특성을 관찰하였고, 밸브 동작에 따른 관내 압력과 거동을 알 수 있었다.

차후, 흡입부의 실제 상세 기하 조건과 내부 매질의 유동 및 매질과 관 벽과의 마찰을 고려한 특성곡선법의 적용 및 압력 이력 예측이 필요하다.

### 후 기

본 논문은 LG 전자 및 BK 21과 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다 (No. 2011-0018242).

### 참고 문헌

- [1] R. S. Benson and W. A. Woods, "Wave action in the exhaust system of a supercharged two-stroke-engine model," *Int. J. Mech. Sci.* **1**, 253-281 (1960).
- [2] G. Ferrari and R. Castelli, "Computer prediction and experimental tests of exhaust noise in single cylinder internal combustion engine," *Noise Control Eng. J.* **24**, 50-57 (1985).
- [3] T.-K. Kim and J.-G. Ih, "Simulation of nonlinear/time-varying sound in a pipe by MOC," *Proceeding of ASK annual meeting*, **28**, 102-105 (2009).
- [4] M. Goyal, G. Scharpf, and G. Borman, "The simulation of single cylinder intake and exhaust systems," *SAE Trans.* **78**, Paper No. 690478, 1733-1747 (1969).