

리니어 압축기의 건전성 인자 추출

황태완*† · 하종문* · 정민** · 윤병동*

*서울대학교 기계항공공학부

**LG 전자

Health index extraction for linear compressor

Tae Wan Hwang*†, Jong Moon Ha*, Min Jung* and Byeng D. Youn*

* Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Seoul Nat'l Univ.,

** LG Electronics

1. 서론

압축기는 기체를 압축시켜 압력을 높이는 기계 장치이다. 최근 개발된 리니어 압축기는 소음과 에너지 소비가 적어 사용이 늘어나고 있는 추세이다. 고장 진단 기술은 압축기의 유지보수 비용을 효과적으로 절감할 수 있는 방법 중 하나로 알려져 있다. 하지만 리니어 압축기는 다른 종류의 압축기에 비해 고장 진단 연구가 미비한 상태이다. 이번 연구에서는 진동 및 압력 신호를 사용하여 리니어 압축기의 고장을 진단하는 방법을 제시한다. 이를 위해 저주파/고주파 필터 등의 신호 처리 방법이 사용되었다. 처리된 신호에서 건전성 인자 후보군을 만들고, FDR(Fisher discriminant ratio)를 사용한 민감도 분석으로 주요 건전성 인자를 선택하였다. 마지막으로 ANN(Artificial Neural Network)을 통해 선택된 인자의 유효성을 확인하였다. 이 논문에서는 제안된 기술의 검증을 위해 흡입 밸브 고장을 재현한 압축기로부터 신호를 수집하였다.

2. 시험 및 신호 분석 결과

2.1 고장 모사

흡입 밸브는 압축기에서 가장 중요한 고장으로 알려져 있다.⁽¹⁾ 이 논문에서는 흡입 밸브 끝부분의 파단을 고장 모드로 선택하고, 모양과 크기를 달리하여 Fig.1 와 같이 흡입 밸브의 고장 모드를 재현하였다.

2.2 시험 조건

리니어 압축기 표면에서의 진동과 흡입, 배출관에서 압력 신호를 수집하였다. 두 가지 실험 조건하에 센서 정보를 수집하였다. 첫 번째는 토출 압력 크기를 동일하게 유지했고, 두 번째는 초

기에 냉매 양을 동일하게 주입한 후 흡입 압력 크기를 일정하게 유지했다. 각각을 실험 1, 실험 2라고 명명하였다.

2.3 신호 분석

진동 신호를 보면 2~3Hz 사이의 주파수 성분이 가장 큰 진폭을 가진다. 이는 압축기를 지지하는 스프링의 고유 진동수 성분으로 예측된다. 60Hz 주파수 성분은 모터에 의해 발생하는 피스톤 주파수이다. 위에 언급한 두 성분이 진폭 변조를 일으켜 63, 126Hz 등의 성분이 발생되었다. 흡입 압력 신호에서는 60Hz 및 홀수 조화 성분이 주로 발생한다. 이는 냉매가 흡입되는 과정에서 발생하는 압력 변동으로 볼 수 있다⁽²⁾. 토출 압력 신호는 흡입 압력 신호와 마찬가지로 60Hz 및 홀수 조화 성분이 주로 발생한다. 하지만 토출 파이프가 압축기 내부와 연결되어 있기 때문에 63, 126Hz 성분도 나타난다.

3. 건전성 인자 선택 및 검증

3.1 건전성 인자 후보군 추출

수집한 신호로부터 리니어 압축기의 건전성을 나타낼 수 있는 건전성 인자의 후보들을 계산했다. 신호를 1초 간격으로 나눈 후, Fig. 3에 나타난 과정으로 처리하였다. 처리된 신호로부터 평균,

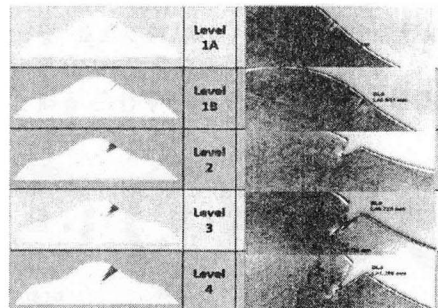


Fig. 1 흡입 밸브 끝 부분 파단을 모사

† Presenting Author, michel4546@snu.ac.kr

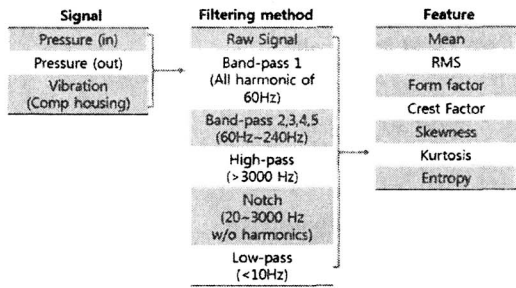


Fig. 3 수집 신호와 사용된 신호 처리 방법, 각 신호에서 추출한 인자들

RMS(Root Mean Square)등을 계산하였다. 결과적으로 189 개의 건전성 인자 후보를 추출해냈다.

3.2 민감도 분석

민감도 분석을 위해 (식 1)로 정의되는 FDR 을 도입하였다. 정상과 비정상으로 데이터를 나누고, 각각의 인자에 대해서 FDR 을 계산하였다. 그리고 FDR 이 높은 인자를 최종적인 건전성 인자로 선택하였다.

$$FDR = \frac{(m_1 - m_2)^2}{(\sigma_1^2 + \sigma_2^2)}$$

Where m_1, m_2 = mean of two class (식 1)

σ_1, σ_2 = variance of two class

3.3 건전성 인자 선택 결과

선택된 건전성 인자를 Table. 1 에 정리하였다. 공통적으로 모든 실험에서 흡입 압력 신호의 RMS 로부터 건전성 인자가 계산되었음을 알 수 있다. 하지만 실험 1에서는 고장이 발생하면 RMS 가 감소하는 반면, 실험 2에서는 증가하는 경향을 보인다. 각각을 살펴보면, 실험 1에서는 Raw 신호와 60Hz 와 조화 성분 신호에서 건전성 인자가 선택되었다. 실험 2에서는 3000Hz 이상의 성분만 계산한 High-pass 신호와 120Hz 성분인 Band 2 신호에서 건전성 인자가 선택되었다.

3.4 건전성 인자 검증

건전성 인자의 타당성을 검증하기 위하여 ANN 시험을 수행하였다. 학습과 검증 데이터의 비율을 4:1 로 하고, 선택된 건전성 인자의 데이터를 무작위 선택하여 학습시켰다. 시험을 5 회 수행하여 정상/고장을 성공적으로 분류해내는 비율을 구하였다. 그 결과 모든 경우에서 1 개의 건전성 인자만으로 고장을 100% 분류할 수 있었다.

Table 1 FDR 을 통해 선택된 건전성 인자

실험 조건	인자 1	인자 2	인자 3
실험 1	Pressure in, Raw, RMS	Pressure in, Band 1, RMS	Pressure in, Band 2, RMS
실험 2	Pressure in, High, RMS	Pressure in, Band3, RMS	Pressure in, Band5, RMS

4. 결론

이번 연구에서는 압력과 진동 신호를 사용하여 리니어 압축기의 고장, 그 중에서도 흡입 밸브의 고장을 분별할 수 있는 건전성 인자를 추출하는 방법과 그 결과를 확인하였다. 수집한 신호로부터 다양한 건전성 인자 후보를 계산하고, 민감도 분석을 수행하여 최적의 건전성 인자를 찾아내었다. 그 결과 흡입 압력의 RMS 가 고장의 중요한 지표임을 확인했다. 하지만 실험 조건이 달라짐에 따라 고장 시 RMS 가 변화하는 경향성은 달랐다. 따라서 고장 진단을 위해 건전성 인자를 지속적으로 감시하는 경우, 실험 조건을 일정하게 유지하는 것이 중요하다고 결론 내릴 수 있다.

후 기

This research was supported by LG Electronics

참고문헌

- (1) Kurt Pichler, Andrea Schrems, Thomas Buchegger, Matthias Huschenbett, Markus Pichler, 2011, "Fault detection in reciprocating compressor valves for steady-state load conditions", *IEEE International symposium on signal processing and information technology*, pp.224~229
- (2) Sergios Theodoridis, and Konstantinos Koutroumbas, 2010, *An introduction to Pattern Recognition: A MATLAB Approach*, Elsevier, Oxford, pp.107~135
- (3) Takao Yoshimura, Hironari Akashi, Akio Yagi, Kosuke Tsuboi, 2002, "The estimation of compressor performance using a theoretical analysis of the gas flow through the muffler combined with valve motion", *International compressor engineering conference*