

Single rotary compressor의 저진동 저속제어를 위한 자동 부하 보상 알고리즘

구본관*, 최준혁*, 정인성*

* 전자부품연구원

Load torque compensaiton algorithm for single rotray compressor of air conditioning system

Bon-Gwan Gu*, Jun-Hyuk Choi*, In-Soung Jung*

*Korea Electronics Technology Institute

ABSTRACT

저용량 에어컨의 압축기에 많이 사용되는 Single rotary 방식은 하나의 피스톤만을 채용하여 가격적인 면에서 큰 이점을 가진다. 그러나, 압축기 모터가 1회전할때 마다 압축과 토출을 단 1회 거치게 되므로, 부하변동을 심하여 진동이 많이 발생하는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 Single rotary를 사용하는 에어컨 제품에서는 저속에서의 운전을 회피하거나 하나의 운전점에 대한 전향보상기를 채용하여 진동을 저감시켜왔다. 본 논문에서는 모든 운전점에서 보상이 가능하도록 압축과 토출로 인한 부하의 패턴에서 각 주파수 성분을 분석하여 자동으로 부하 토크를 보상하는 알고리즘을 제안한다. 제안된 방법은 가장 영향이 큰 1차와 2차 주파수 성분의 속도 리플의 양을 FFT 하고, 그 양이 작아지는 방향으로 부하 토크를 전향 제어방식으로 인가하는 방식이다. 제안된 방식을 이용하여 저속 운전에서 진동이 저감 되는것을 실험을 통하여 보였다.

1. 서론

압축기는 냉매를 압축하여 냉동공조에 사용하는 기기로, 기계적으로 냉매를 압축할 때 진동이 발생한다. 트윈로터리 방식의 경우에는 압축과 토출은 1회전당 2번씩하게 되는데, 압축과 토출의 행정을 각각의 피스톤이 서로 반대 또는 어긋나게 하게 하여 부하변동을 상당히 줄일 수 있다. 또한, 스코틀 압축기의 경우에는 연속적인 압축과 토출행정이 이루어져 진동이 아주 적다. 그러나, 싱글 로터리 방식의 압축기는 앞의 두 가지 방식과는 다르게 1회전에 압축(높은 부하토크)과 토출(낮은 부하토크)을 한번씩 하면서 모든 압축기 동작을 완료해야 한다. 이는 트윈로터리와 같이 부하토크의 변동을 서로 감쇄할 수 있는 구조가 없어 진동이 많이 발생한다. 발생한 진동은 배관에 피로 파괴, 소음을 발생하므로 반드시 줄여야하는 단점이다.

싱글 로터리 압축기에서 발생하는 진동을 줄이기 위해서 관성에 의해서 진동이 적은 고속 운전이나, 저속 운전이 필요한 경우 압축기 별 부하 패턴을 미리 만들어 전향제어방식으로 모터의 토크를 조정하여 진동을 저감하는 방법을 쓴다. 전향제어 방식을 쓰는 이유는 압축기 특성상 내부에 위치를 실시간 측정할 수 있는 센서를 설치하기 어려우므로 속도를 정확히 알 수 없다. 따라서, 보통 센서리스 제어방식을 사용하는데, 센서리스 방식에서는 속도를 미분하여 얻는 부하토크관측기(Load torque observer)를 사용하게 되면 센서리스와 부하토크관측기 사이에

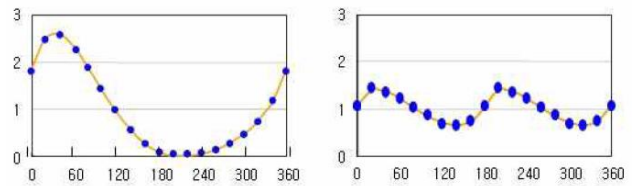


그림 1. 싱글로터리 압축기 (좌), 트윈로터리 압축기의 부하 패턴 [1]

간섭이 발생하여 부하토크관측기의 성능에 방해가 있어 실제 쓸 수 없다. 그래서, 기존의 다양한 부하토크관측 알고리즘을 통해서는 실시간(On-line)으로 진동을 줄일 수 있는 방법은 없고, 미리 얻어진 데이터를 중심으로한 전향 보상기를 이용하여 진동을 저감하는 제어를 일반적으로 구현한다.[1,2]

그러나, 압축기 별 부하 패턴을 미리 검출하는 방법은 많은 시험을 통하여 측정하여야 하며, 냉매의 양, 주위온도, 동작 주파수에 따라서 그 부하패턴이 달라져 실제 상용화하기에 어려운 점이 많이 존재한다. 따라서 부하의 패턴을 실시간으로 검출하여 보상하는 방법을 필요하게 되었다.

2. 부하 보상 알고리즘

그림 1은 싱글로터리와 트윈로터리 압축기의 부하패턴을 보여준다. 싱글 로터리는 한번의 압축과 토출행정을 하면서 부하의 맥동이 그림과 같이 심하게 된다. 그러나, 트윈 로터리는 두 개의 피스톤 동작을 엇갈리게 하여 부하의 맥동이 많이 줄어들게 된다.

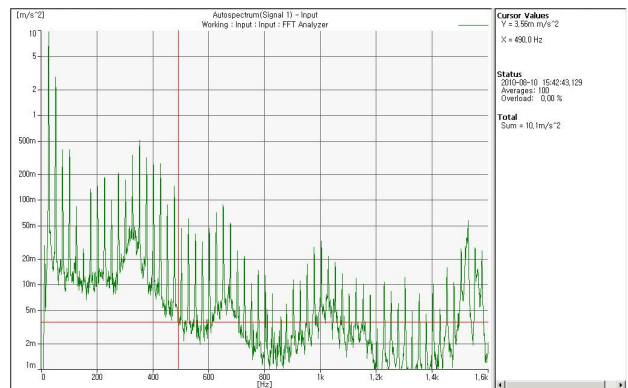


그림2. 싱글로터리 압축기 25Hz 운전시의 진동 측정 결과

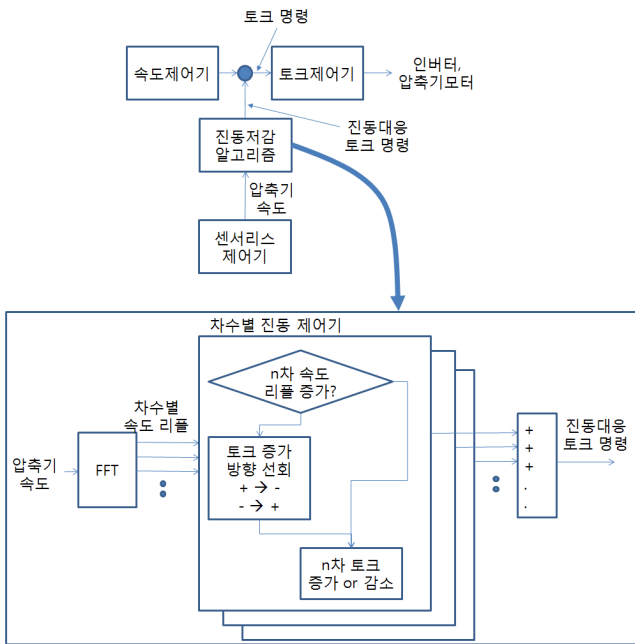


그림 3 제안된 속도 차수별 전향제어기

그림 2는 압축기 25Hz로 운전시 측정된 진동그래프를 나타낸다. 시험 결과에서 전체 진동의 크기는 10.1m/s^2 이며, 회전수의 기본과 성분인 25Hz에서 진동양이 10m/s^2 이고, 2차에서 약 3m/s^2 가까이 발생하여 이 두 가지 성분은 다른 모든 성분에 비하여 주된 진동 요인이다. 따라서, 가장 큰 성분인 1차와 2차의 진동성분을 최소화하게 되면 진동의 양을 현격히 줄일 수 있게 될 것이다. 제안된 부하 보상 알고리즘은 이를 바탕으로 그림 3과 같은 알고리즘으로 구성하여 진동을 저감 할 수 있는 방법으로 사용하였다.

제안된 알고리즘은 압축기의 속도를 Feedback 받아서 필요한 진동대응(부하대응)토크 명령을 만들어 낸다. 입력신호로는 압축기 속도만을 받으면 되고, 압축기 속도로부터 싱글 로터리의 부하 패턴을 검출하여 토크제어기 명령에 속도제어기 명령

과 합쳐져서 인가된다. 진동대응 토크명령은 주기의 합이 0이므로, 속도제어기에서 전체 속도를 관장하게 되고 진동저감 알고리즘에서는 진동대응만 하게 된다.

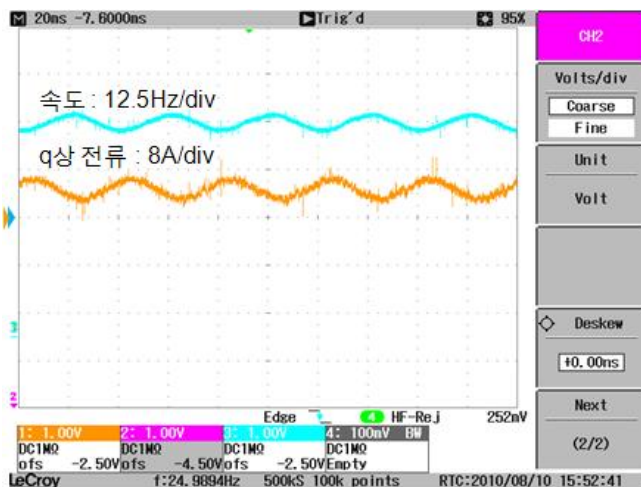
제안된 진동제어기의 구조는 그림 3의 아래 블록과 같다. 압축기의 속도로부터 필요한 차수별 속도 리플을 FFT를 사용하여 검출한다. 각 차수별 속도 리플은 각각의 n차 토크명령으로 출력된다. n차의 토크명령을 증가하고 나서 일정시간이 지난후 바로 전회의 n차 속도 리플의 차와 비교하여 다음회의 토크명령 증감을 결정하게 된다. n차 토크는 n차 속도 리플을 최소화 하는 방향으로 계속해서 검색하여 찾아나가는 알고리즘이다. 모든 차수의 토크명령은 합쳐져서 진동대응 토크명령으로 인가되게 된다. 알고리즘의 구현상에서는 연산 시간과 주요 진동인자를 고려하여 1차와 2차에 대해서만 진행하였다.

3. 시험 및 고찰

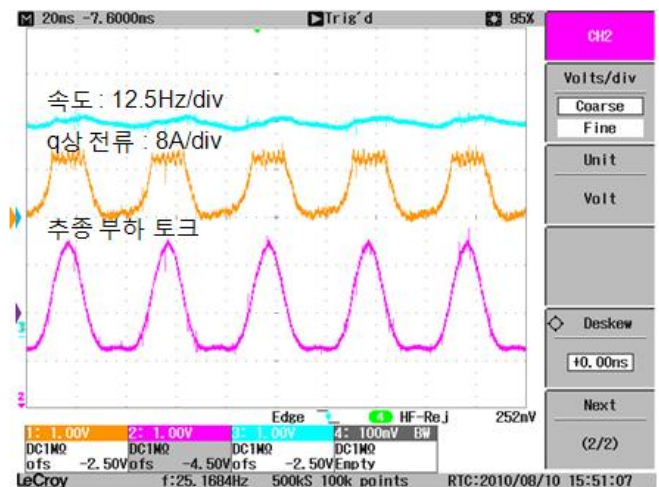
그림 4는 압축기 속도 25Hz에서의 알고리즘 시험 결과를 보여준다. (a)는 제안된 부하 보상 알고리즘이 없는 일반적인 속도제어기만을 사용한 결과이고, (b)는 제안된 부하 보상 알고리즘을 사용한 결과이다. (b)의 q-상 전류의 모양이 부하 패턴과 비슷하게 바뀌면서 속도가 떨어진 부분을 줄이는 효과를 발생시켜, 속도 리플이 많이 줄어들 수 있다.

그림 5는 그림2에서와 같이 25Hz로 운전하는 압축기에 제안된 부하 보상 알고리즘을 적용한 진동 결과이다. 그림2와 비교하면 1차성분은 2m/s^2 이하로, 2차 성분은 0.7m/s^2 이하로 줄어들었다. 3차 이상의 성분에 대해서는 제어기를 구성하지 않았으므로 별다른 변화는 없거나 약간 증가하는 결과를 얻었다. 특히, 3차 성분은 간섭현상으로 인해 상당량 증가 하였으나, 전체 진동양에 큰 영향을 끼치지 못했다. 전체적 진동의 양은 2.64m/s^2 으로 줄어들었다.

그림 6은 각 운전 주파수별 진동의 양을 측정된 결과이다. 운전 주파수가 25Hz~30Hz사이가 가장 많은 진동 감소 결과를 얻을 수 있었다. 35Hz 이상에서는 관성에 의해서 진동의 효과가 줄어들어 개선 효과가 높지 않았다.



(a)



(b)

그림 4 25Hz 동작시의 실험 결과 (a) 제안된 전향제어기가 없는 경우, (b) 제안된 전향제어기를 사용한 경우

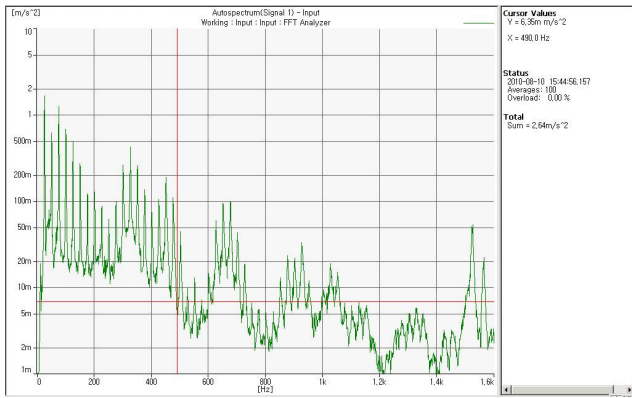


그림 5 제안된 부하보상 제어를 사용한 제어기의 압축기 진동 측정 결과

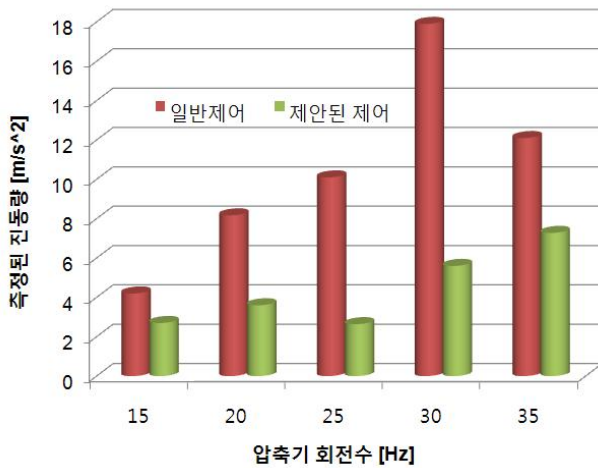


그림 6 압축기 회전수별 측정된 진동양

4. 결론

본 논문에서는 싱글로터리 압축기용 저속 운전 부하 보상 제어기를 제안하였다. 제안된 제어기는 부하패턴을 미리 알아 내지 않고도 실시간으로 속도의 주파수 성분을 감지하여 진동을 최소화 할 수 있어 다양한 압축기, 다양한 환경에서 사용 가능할 것이다.

또한, 본 논문에서는 기술하지는 않았으나, 각 주파수별 위상 정보가 부하별로 변화가 발생한다. 부하의 1차 성분의 경우에는 그 위상 변화가 크지 않으나, 2차성분의 경우에는 상대적인 위상변화가 크다. 따라서, 위상 변화에 대해서도 제안된 알고리즘을 수정 및 적용하여 속도 리플을 최소화 하는 방향으로 설정하면 진동 저감에 도움이 될 것 예상된다.

참 고 문 헌

[1] 임선경, 임준형, 박태영, “부하 토크 부상을 통한 에어컨용 Single Rotary Compressor의 저진동 저속제어,” 전력전자 하계학술대회, 334-336, 2010.

[2] S. Morimoto, K. Kawamoto, and Y. Takeda, “Sensorless Control Strategy for Salient-Pole PMSM Based on Extended EMF in Rotating Reference Frame.

[3] K. Ohishi et al. “Robust Control of a DC Servo Motor Based on Linear Adaptive Control System,” JIEE Trans. Vol. 108, 1988.

[4] M. Iwasaki et al., “High Performance Speed Control System of Vector Controlled Induction with Load Torque Observer,” JIEE Vol. 110, 1990.