

2극 컴프레셔용 전동기의 소음특성 규명 및 저감

Noise Identification and Control of 2-Pole Squirrel Cage Motor for Industrial Compressor

주원호* · 임종욱** · 김동해*

Won-Ho Joo, Jong-Wook Lim and Dong-Hae Kim

Key Words : Motor(전동기), Noise(소음), Slot(슬롯), Air Gap(공극), Cooling Housing(냉각덕트), Identification(규명), Control(저감)

ABSTRACT

Recently, high noise problem was experienced during the development of 2-pole squirrel cage motor for industrial compressor. In order to firstly identify the noise characteristics, a variety of measurements were carried out. It was found out that high noise was dominated by linear and nonlinear slot noise components. For the development of low noise industrial motor, the air gap between rotor and stator in the motor was firstly enlarged. Secondly, it was also modified for the cooling housing to have high absorption features. Consequently, low noise 2-pole motor having the noise level of less 80 dB(A) was developed. In this paper, a series of noise identification and control process for this motor are introduced.

1. 서 론

전동기는 대표적인 전기회전기계로서 각종 플랜트의 핵심기기로 사용되기 때문에 플랜트의 가동율과 안정성 측면에서 높은 운전신뢰성이 요구되어 왔으며, 최근 환경친화제품이 각광을 받게됨에 따라 저진동 저소음 전동기의 개발이 크게 요구되고 있다.

전동기의 소음은 발생 메커니즘에 따라 전자기 소음, 기계적 소음 및 유동소음 등에 의해 지배된다. 전자기 소음은 권선의 형상과 배열, 회전자와 고정자사이의 공극, 회전자와 슬롯 및 편심 등에 의해 야기되며, 기계적 소음은 베어링으로 지지되는 회전체의 진동에 의해, 유동소음은 열 평형(heat balance)을 위해 설치되는 냉각팬과 냉각덕트에서 주로 발생하는 것으로 보고되고 있다.

최근, 당사는 2극 컴프레셔용 1,250 마력 저진동 저소음 전동기를 개발하고자 하였다. 저소음화를 위해 먼저 음향 인덴시터 계측을 비롯한 다양한 소음계측을 수행하여 대상 모델의 소음특성을 규명하였으며, 이를 바탕으로 회전자와

고정자사이의 공극을 확장하여 1차적으로 소음원 수준을 감소시켰으며, 냉각통풍덕트의 내부를 흡음성능이 뛰어나도록 구조변경하여 대상 전동기를 전체적으로 소음수준이 80 dB(A)이하로 저소음화 하였다. 본 논문은 대상 전동기의 저소음화를 위해 적용한 소음특성 규명 및 저감기법들과 일련의 과정을 기술하고자 한다.

2. 대상 전동기의 특성

연구대상은 2극 컴프레셔 구동용 1,250 마력 농형유도 전동기로서 전체적인 외형은 그림 1과 같다.

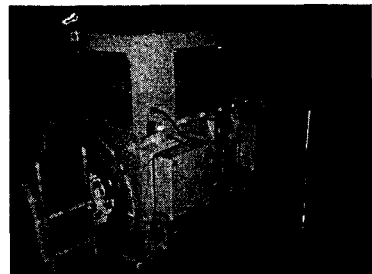


그림 1 개발 전동기의 소음특성 계측

대상 전동기의 개발 배경은 다음과 같다. 기존의 컴프레셔용 전동기는 컴프레셔 구동회전수가 전동기 축계의 위험 속도 위에 놓이는 탄성회전체 특성을 갖고 있기 때문에 컴

* 현대중공업 선박해양연구소
E-mail : whjoo@hhi.co.kr
Tel : (052) 230-7402, Fax : (052) 230-5465
** 현대중공업 전기전자사업부 신제품개발실

프레서를 구동하기 위해서는 위험속도를 통과해야하며 전반적으로 진동이 높은 편이었다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 전동기 축계의 위험속도를 컴프레서 구동회전수보다 높게 하는 강제 회전체로 그 동특성을 변경하는 것이 필요하다. 따라서 본 대상 전동기는 이러한 요구사항을 만족하도록 설계되었으며, 본 논문에서 언급하고자하는 저소음 설계 측면 뿐만 아니라 효율은 기존의 전동기 수준을 유지하면서 구조가 컴팩트(compact)하게 설계되어 전반적으로 소형화를 이루는 등 다양한 특징을 갖고 있다.

3. 소음특성 규명

대상모델 제작후 1차 시운전시 고유의 성능측면에서는 만족스러운 결과를 도출하였으나 98dB(A)의 과도한 소음이 발생하였다. 이에 소음특성을 규명하고 저소음화를 실현하기 위해 다양한 구동조건에서 인텐시티소음을 비롯하여 옥타브 밴드 및 협대역 소음 등을 계측하였다.

3.1 정격회전시의 소음계측

정격회전속도에서 냉각통풍덕트 앞에서의 옥타브 밴드 소음 계측결과는 1.6k Hz와 2.5k Hz 밴드에서 각각 96 dB(A)와 92 dB(A)수준을 나타내며 전체소음수준을 지배하고 있었다. 이에 보다 정확한 소음정보를 얻기 위해 동일 위치에서 협대역 소음을 계측하였으며 그 결과는 그림 2와 같다.

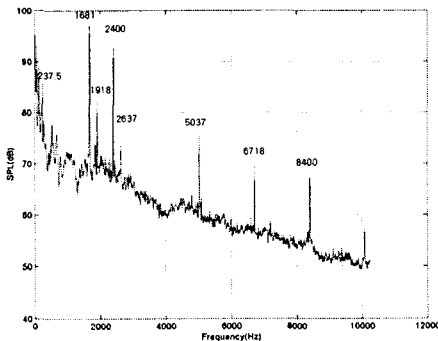


그림 2 전동기의 냉각통풍구를 통한 협대역소음

그림 2는 전체소음수준이 광대역 소음특성이 아닌 톤(tonal) 소음에 지배됨을 보여주고 있으며, 특히 1,680 Hz와 2,400 Hz의 주파수에서 지배적으로 나타나고 있다. 이외에도 4,000 Hz이상에서는 1,680 Hz 소음의 조화성분에 해당하는 톤성분들이 낮은 수준이지만 주기적으로 나타나고 있다. 이 결과로부터 1,680 Hz 소음성분과 그 조화성분들은 회전자의 슬롯에 지배되는 소음성분으로 추정되었으나,

2,400 Hz성분은 특별한 원인을 분석하기 어려웠다.

또한 전동기 내부에서 소음이 어떻게 발생하는지를 파악하기 위해 냉각통풍덕트를 제거한 후 인텐티티소음을 계측하였으며 협대역에서 소음지배 성분인 1.6 kHz에서의 계측결과를 그림 3에 나타내었다.

-103	89	103	104	101	-99	100	100	83	-105
105	101	-95	87	102	104	99	95	105	104
104	102	95	86	94	99	99	93	102	104

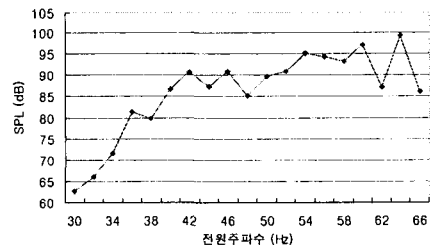
101	90	98	99	91	96	101	91	-94	101
105	105	96	91	106	109	104	102	110	110
112	108	90	108	107	109	111	106	109	113

그림 3 전동기 상면에서의 인텐티티 소음계측(1.680Hz성분)

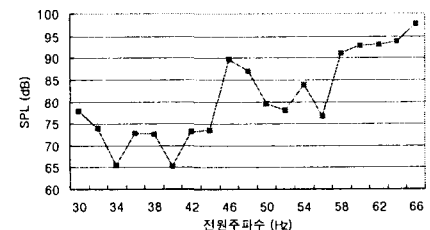
그림 3은 일부 영역에서 소음이 방출되지 않고 안으로 역류하는 현상이 있지만 전반적으로 회전자가 있는 중앙부보다는 가장자리에서 소음이 크게 나오고 있음을 보여주고 있다. 따라서 발생 소음이 냉각공기 전달경로를 따라 전파되고 있음을 알 수 있었다.

3.2 전원주파수 스위칭시의 소음계측

소음지배 톤성분들이 어떠한 소음원특성에 의해 지배되는지를 파악하기 위해 전원주파수를 정격회전속도까지 변화시키면서 전동기 냉각통풍덕트 앞에서 주요 톤소음성분에 대한 변화를 그림 4와 같이 계측하였다.



(a) 1,680 Hz 소음성분



(b) 4,000 Hz 소음성분

그림 4 주요 톤 성분들의 변화

그림 4-(a)로부터 알 수 있듯이 1,680 Hz 소음성분은

전원주파수 40 Hz 이상에서 정격회전속도까지는 약 10 dB 이상으로 소음이 지속적으로 증가하였으며, 이는 회전속도비의 3승으로 음향파워가 증가하며 경계조건에 지배를 받는 이중극 소음원의 특성을 갖는 것으로 추정되었다. 결과적으로 이 소음성분과 조화성분들은 앞서 언급한 바와 같이 회전자와 고정자 사이의 공극이 불안정함에 따라 발생하는 전형적인 슬롯소음성분으로 파악되었다. 그러나, 2,400 Hz 소음성분은 1,680 Hz 소음성분과는 달리 전원주파수 46 Hz와 60 주위에서만 크게 발생하고 있으며 조화성분도 나타나지 않았다. 이에 따라 이 성분은 비선형특성을 갖는 소음성분으로 판단되어 식(1)에 보인 바와 같이 회전자와 고정자의 상호간섭에 의한 비선형소음 특성 관계식을 적용할 경우 40차에 해당하는 성분인 것으로 파악되었다.

$$m = nB + kV \quad (1)$$

여기서, B는 회전자의 슬롯수, V는 고정자의 슬롯수, m, n, k는 정수로서 슬롯소음의 차수에 해당한다.

결과적으로 보면 대상 전동기의 과도한 소음수준은 회전자와 고정자 사이의 공극에 의해 야기되는 선형 및 비선형 슬롯소음에 크게 지배받고 있으며 냉각공기의 전달경로를 따라 전파되고 있는 것으로 판단되었다.

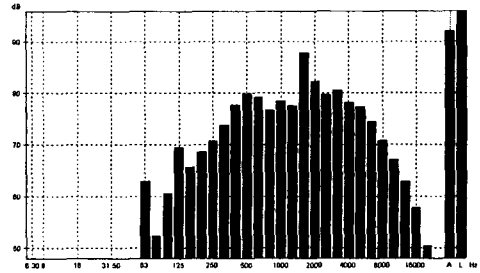
4. 저소음화기법 적용

소음을 저감하는 기법은 1차적으로 소음을 발생시키는 소음원의 수준을 저감시키는 방법과 전달경로를 파악하여 최적의 위치에서 소음을 흡차음시켜 소음전달을 제어하는 방법이 있다. 본 연구에서는 두가지 방법이 모두 적용되었으며 각각의 소음저감 효과를 정격회전속도에서 전동기 주위의 소음을 계측하여 파악하였다.

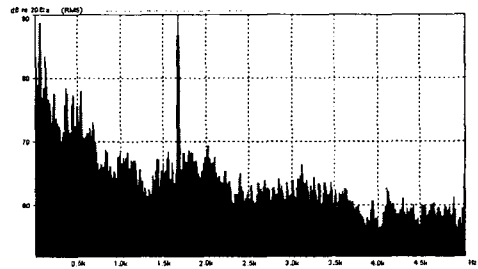
4.1 소음원 수준저감기법

1차적으로 다양한 계측을 통하여 분석된 과도소음의 원인 즉, 회전자와 고정자사이의 공극을 1 mm정도 크게 하여 슬롯소음을 제거하도록 하였으며, 일부 냉각공기가 역류하는 것을 방지하기 위하여 로터 바(rotor bar) 끝단부의 통풍로를 일부 변경하였다. 적용후의 계측결과는 그림5에 나타내었다.

공극수정후 기존의 2,400 Hz 비선형 소음성분과 1,680 Hz의 조화성분들은 거의 사라졌으며, 1,680 Hz의 슬롯소음은 약 86 dB로 제어전보다 약 10 dB 감소하는 등 상당히 큰 저감효과를 확인할 수 있었다. 이때, 전체소음수준은 98 dB(A)에서 92 dB(A)로 6 dB 감소하였다. 이로써, 과도 소음의 근본적인 원인은 회전자와 고정자의 공극으로부터 야기된 슬롯소음인것으로 확인되었다.



(c) 옥타브밴드소음



(b) 협대역 소음

그림 5 공극 수정후 전동기의 소음수준

4.2 소음전달 경로 제거기법

과도한 소음이 냉각공기의 전달경로를 따라 전파되기 때문에 인텐시티 계측결과를 바탕으로 냉각통풍구 내부를 격벽으로 분리한 후 흡음성능이 우수한 흡음재가 충분히 부착되도록 냉각통풍덕트를 구조변경하여 소음전달 제어방법으로서 적용하였다. 이때 적용한 흡음재의 흡음성능은 그림 6에 보인 바와 같고, 적용후 계측결과를 그림 7에 나타내었다.

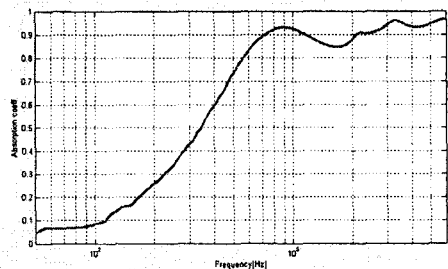
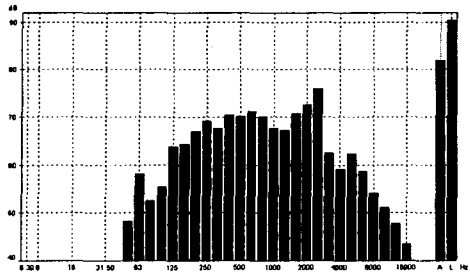


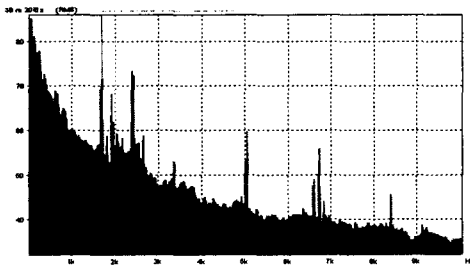
그림 6 흡음재의 흡음특성

냉각통풍덕트의 구조변경후 소음특성은 초기 소음성분 즉, 1,680 Hz의 슬롯소음과 그 조화성분, 2400 Hz의 비선형

소음성분들이 나타나고 있으나 그 소음수준은 냉각통풍덕트의 흡음성능에 의해 전반적으로 75 dB이하의 낮은 수준으로 저감되었다. 전체소음수준은 변경전 98 dB(A)에 비해 약 16 dB 줄어든 82 dB(A) 수준을 나타내고 있다.



(a) 옥타브밴드소음



(b) 협대역 소음

그림 7 냉각통풍덕트 구조변경후 전동기의 소음수준

4.3 저소음원화 실현

앞서 언급한 두가지 저감방법 즉, 회전자와 고정자와의 공극을 증가시키고, 흡음성능이 뛰어나도록 냉각통풍덕트를 설계제작 한 결과 전체소음수준이 각각 6 dB와 16 dB 저감되었으며 결과적으로 두방법이 동시에 적용된 후 대상 전동기의 전체소음수준이 80 dB(A) 이하가 되었다.

5. 결 론

최근 2극 콤프레서용 1,250 마력 개발 전동기의 저소음화를 위해 음향 인텐시티 계측을 비롯한 다양한 소음계측을 수행하여 소음특성을 규명하였으며, 그 결과 전체소음 수준은 회전자와 고정자와의 공극의 불안정으로 야기되는 선형 및 비선형 슬롯소음에 지배받는 것으로 파악되었다. 따라서 이를 제어하기 위해 회전자와 고정자사이의 공극을 확장하여 소음원 수준을 감소시켰으며, 냉각통풍덕트를 흡음성능이 뛰어나도록 구조변경하여 소음전달을 제어함으로써 전체적으로 소음수준이 80 dB(A) 이하로 나타나는 저소음 콤프레서용 2극 전동기를 개발하게 되었다.

참 고 문 헌

- (1) P.L.Timar, A. Fazekas, J. Kiss, A. Miklos, and S. J. Yang, 1989, Noise and Vibration of Electrical Machines, Muszaki Konyvkiado, Budapest.