

철도 차량용 회전기계의 소음 진동 분석사례

Case History of Rotating Machinery Noise and Vibration Diagnostics on Rolling Stock

손병구
Son, Byoung-Gu

1. 서 론

철도 차량이 운행되기 위해서는 각 종 많은 회전 기계들이 유기적으로 작동되어 움직인다. 대표적으로 동력장치에 따라 적용되는 추진체(구동 전동기, 디젤기관), 휠셋에 동력전달을 위한 기어박스 또는 트랜스 미션과 냉동공조장치의 압축기, 응축기 환과 차량제동용 공기압축기, 각 종 전장품의 냉각 시스템에 다양한 장치들이 적용된다. 본 논문에서는 이러한 회전기계들 중 대표적인 구동전동기와 구동전동기 냉각용 송풍기의 소음과 진동 개선사례를 소개하겠다.

2. 본문

일반적으로 철도차량은 운용처의 요구사항에 맞추어 제작되며, 차량 성능 요구 조건중에 차량의 소음과 진동 성능에 대한 요구사항은 일반적으로 국제규격인 ISO, IEC, TSI등을 인용하지만, 세부적으로는 차량의 운용환경 및 각 나라의 안전 및 환경 법규, 기존 철도시스템의 체계 및 지역적, 국민적 특성등이 고려된 요구 조건이 제시되고 있다. 이에 차량 설계시에 개별 프로젝트별로 다양하게 요구되는 사양을 만족시키기 위한 방안에 대하여 노력하게 된다.

2.1 송풍기 소음과 진동 저감사례

(1) 요구사항 및 송풍기 설계적 특성

일반적으로 중, 저속 전동차에 적용되는 견인전동기는 에너지효율과 설치공간 및 유지보수적 장점으로 회전자 축에 직접 냉각용 송풍기가 부착된 자냉 방식을 적용한다. 그러나 본사례의 전동차량에서는 레간이 협궤이고, 레일 크로싱 부위의 가이드 레일이 타 운영처 궤도 보다 높은 경우로, 이로 인한 차량 하부기기 한계치 또한 높이 제약되어야 했다. 즉, 견인전동기와 드라이빙기어 크기에 제약이 될 수밖에 없는 경우이다. 개념설계 초기 소형화 된 드라이빙 기어를 검토했으나, 본 차량의 경우 납기 기한 관계로 새로운 드라이빙 기어의 설계제작이 어려워, 견인전동기 크기를 줄 일수 있는 냉각용 송풍기가 설치되는 강제냉각 방식의 견인전동기를 설치하게 되었다. 또한 운영처의 정차중 소음 및 진동사항을 고려할 때, 견인전동기의 냉각용 송풍기의 소음원과 진동원을 낮추기 위해서 송풍기의 회전속도를 차량 속도에 따라 가변시키는 방안을 검토하였으나, 견인전동기 크기의 소형화에 따른 최소 냉각용량의 필요성과 송풍기 회전속도 조절용 인버터 구동 시스템 적용에 따른 유지보수 문제등으로 송풍기는 최대 풍량의 회전속도에서 운영하도록 결정되었다.

Table 1 은 견인전동기 냉각용 송풍기의 사양을 나타낸 것이다.

Table 1 Specification of Blower

Contents	Design Specification
Air Volume	25 m ³ /min
Static Pressure	270 mmAq
Motor	2 pole induction type
Fan rotating rpm	2800 rpm

† 손병구; 비회원, 현대로템 (주)
E-mail : sbgr@hyundai-rotem.co.kr
Tel : 031-596-9492

2.2 구동전동기 소음 저감 사례

(1) 구동전동기의 설계적 특성

고속전철에서 추진시스템의 핵심부품인 견인전동기는 높은 에너지 효율과 고속운전에서도 견딜 수 있는 신뢰성과 안정성이 요구된다. 그리고 고속회전 시 소음저감, 저속에서의 냉각용량 확보 및 손실저감을 위하여 고속전철용 대용량 견인전동기는 일반 전동차 견인전동기의 자기 송풍방식과 달리 반 부하측에 송풍덕트를 연결하여 송풍팬으로 일정량 이상의 냉각공기를 불어넣어주는 강제 송풍방식을 채택하고 있다. 또한 일반 전동차 견인전동기의 냉각공기는 회전자와 고정자의 공극과 고정자 슬롯의 틈새를 통해 냉각공기가 흐르는 반면 회전자와 고정자에 통풍홀 구조를 채택하여 유입된 냉각공기가 통과하도록 하여 흐름을 보다 원활하게 할 뿐만 아니라 냉각면적을 넓혀 냉각성능을 향상시켰다. 그러나 회전자와 고정자의 통풍홀 구조는 강제 송풍시 견인전동기의 냉각에 도움을 주지만 특정 회전수에서 공명현상으로 인해 소음이 증가하는 현상을 보일 수 있는데 이러한 공명현상을 최소화하기 위하여 여러 가지 방법 중 내부에 대류현상을 일으켜 소음을 개선시키는 방법이 적용되었다.

대용량 고속전철의 경우 고속회전과 소음의 영향을 최소화하기 위하여 Figure 6 에서 보는 것과 같이 회전자에 팬을 채택하지 않고 강제 송풍에 의한 냉각공기의 흐름을 최대화 하기 위하여 통풍홀을 채택한 구조를 사용하고 있다. Table 2 은 고속전철용 견인전동기의 사양을 나타낸 것이고, Figure 7 은 고속전철용 견인전동기의 냉각공기 흐름을 나타낸 것이다.



Figure 6 Traction Motor of high speed train

Table 2 Specification of traction motor for high speed train

Contents	Design Specification
Type	3 Phase Induction Motor
Output Power	1100 kW
Max. Operating Speed	4100rpm (300km/h)
Cooling Type	Forced cooling system

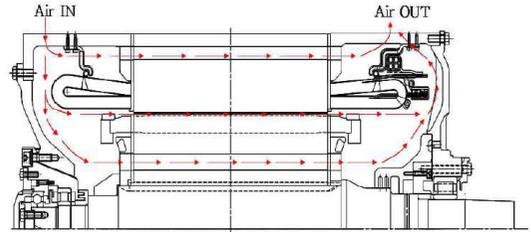


Figure 7 Flow diagram of traction motor for high speed train

(2) 소음 사양 및 측정

견인전동기의 소음기준은 “ 무부하 상태에서 정상 운전상태 또는 운전 속도의 범위가 존재하는 경우 최대 운전속도에서 운행되어야 한다 ” 라는 IEC60349-2 부속서 C 에 조건에 의거 고속전철의 최대 운전속도 300km/h 에 해당하는 4100rpm 에서 시험을 하였다. Figure 8 의 소음한계에 의거 113 dB(A)를 기준으로 하였다.

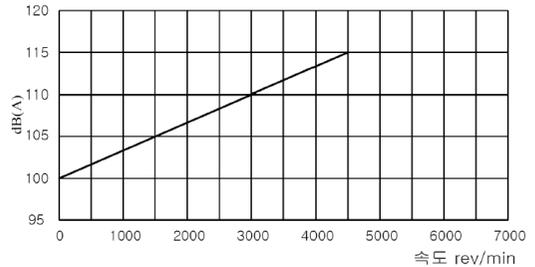


Figure 8 Noise criteria of IEC 60349-2

견인전동기의 소음 측정은 송풍덕트를 연결한 후 송풍기 전원을 인가하지 않은 상태, 즉 무송풍 상태에서 시험을 실시하였다. 시험은 600rpm 에서 시작하여 4100rpm 까지 속도를 증가시키면서 시험을 실시하였다. 시험 중 특정영역에서 1800rpm 에서부터 3000rpm 까지, 430Hz 영역에서 시작한 100dB 이상의 과다 울림소음이 운전속도 상승에 따라 일정 상승하는 주파수성분으로 나타났다. 이러한 현상은 속도를 상승시킬 때뿐만 아니라 최대 운전속도에서 전원을 off 한 상태, 즉 shut down 시에도 같은 운

전영역에서 이상소음이 발생하였다. 시험 과정에서 보이듯이 이상소음의 원인은 전자기적 소음과 무관함을 의미한다. Figure 9 은 Start-up 시 소음측정 결과를 나타낸 것이다.

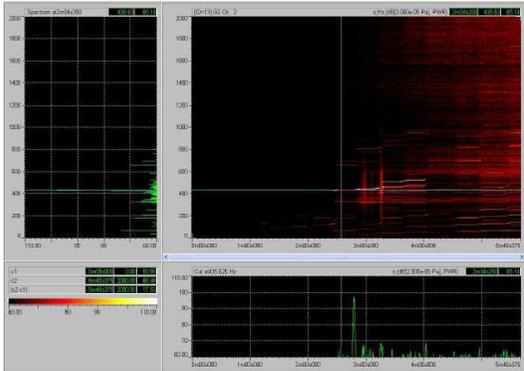


Figure 9 Noise measurements of start-up condition

(4) 소음원인 분석 및 개선

이상소음은 기계적인 진동 및 전자기적 소음과는 연관성이 적으며 공기의 유동과 밀접한 관련이 있을 것으로 판단되었다. 즉, 직접적 회전과 관련된 회전자의 통풍홀 관로 내 압력맥동으로 발생한 배관진동에 의한 공명현상을 원인으로 추정하였다. Figure 10 은 단순 관의 공명모드를 설명하기 위한 그림이다.

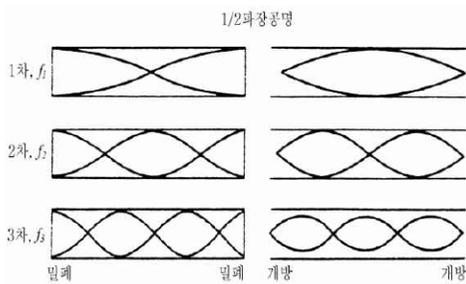


Figure 10 Resonance of Simple Pipe

단순 관의 1/2 파장 공명(밀폐단-밀폐단(closed-closed) 또는 개방단-개방단(open-open))은

$$f_{an} = \frac{C}{2L}n$$

여기서, f_{an} : 음향학적 고유진동수, L:단순 관의 길이, $C = (K/\rho)^{0.5}$:음속(압력파의 전파속도), K:유체의 체적탄성계수, ρ :유체밀도, 이다.

여기에서 고속전철용 견인전동기 회전자의 통풍관 길이 0.380m, $C=340$ m/s 이다. 따라서 통풍관의 음향학적 1 차 고유진동수는 447 Hz 이다. 이는 측정된 이상소음에서의 주파수특성에서 보인 455Hz 와 유사하다.

이러한 분석에 의해 강제 송풍상태와 같이 회전자 관로내의 맥동은 강제 대류현상에 의해 상쇄가 되었다. 그리하여 강제 대류현상을 일으키는 방법으로 블레이드를 고안하였다. 그러나 블레이드의 크기가 너무 크게 되면 대류현상을 상쇄시켜 공명음을 줄이는 효과보다 블레이드 날개에 의한 소음이 더 크게 되어 오히려 소음이 더 증가하는 역효과를 가져올 수 있다. 따라서, 블레이드가 없는 상태에서 무송풍 상태와 강제송풍상태 및 각각 블레이드 小, 中, 大를 적용하여 무송풍 상태와 강제송풍상태의 소음 특성을 측정하였다. Table 3 은 각각의 소음 측정결과를 나타낸 것이며, 블레이드 길이가 中일 때 주파수별 소음레벨과 소음특징들이 가장 좋았으며, 최종 이를 적용하였다.

Table 3 Noise result for blade shape

Blade type	Rotating speed	Test result(dBA)
No applied	4100 rpm	108.2
High size		101.0
Medium size		99.7
Small size		98.8 (abnormal noise)

3. 결 론

철도 차량에는 각 중 많은 회전기계들이 유기적으로 작동되어 움직인다. 본 논문에서는 이러한 회전기계들 중 대표적인 구동전동기와 구동전동기 냉각용 송풍기의 소음과 진동 개선사례를 소개하였고, 이러한 개선사항을 설계단계에서 고려되어 불필요한 시간적, 경제적 손실을 최소화 하도록 해야겠다.