

고속전철용 견인전동기 소음개선

Noise Reduction of Traction Motor for High Speed Train

김정철* 김대광** 김봉철*** 박영호**** 최종목*****
Kim, Jung-Chul Kim, Dea-Kwang Kim, Bong-Chul Park, Yeong-Ho Choi, Jong-Mook

ABSTRACT

The traction motor for High Speed Train is being required reliability and stability for high-speed operation. And also required low noise level, high performance, compact size owing to the space and weight limitation for attaching to train, etc. As a result of requiring the low noise level and high power capacity, it is adopted forced-air-ventilation instead of self-ventilation that is generally used on electric multiple unit. Traction motor is cooled by cooling air through the air-ventilation hole. When the traction motor is operated with forced-air-ventilation, there is some abnormal noise in the specific RPM.

This paper is dealing with the method to reduce the resonance phenomena by adopting the rotor blade.

1. 서 론

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 냉각성을 향상시켰다.

그러나 회전자와 고정자의 통풍홀 구조는 강제 송풍시 견인전동기의 냉각에 도움을 주지만 특정 회전수에서 공명현상으로 인해 소음이 증가하는 현상을 보일 수 있는데 이러한 공명현상을 최소화 하여 소음을 저감하기 위한 방법이 필요하다.

이 논문에서는 이러한 공명현상을 최소화하기 위하여 여러 가지 방법 중 내부에 대류현상을 일으켜 소음을 개선시키는 방법에 대해 소개하고자 한다.

* (주)로템 기술연구소, 전장품개발팀, 비회원

E-mail : lovelife71@rotem.co.kr

TEL : (031)460-1261 FAX : (031)460-1787

** (주)로템 기술연구소

*** (주)로템 기술연구소

**** (주)로템 기술연구소

2. 본 문

2.1 냉각구조 비교

일반 전동차용 견인전동기의 냉각 구조는 아래 그림 1.에서 보는 것과 같이 회전자 축에 냉각 팬이 부착되어 회전 시 팬으로 인해 냉각공기를 불어내는 자기냉각 방식을 채택하고 있다.

그러나 대용량 고속전철의 경우 고속회전과 소음의 영향을 최소화하기 위하여 그림 2.에서 보는 것과 같이 회전자에 팬을 채택하지 않고 강제 송풍에 의한 냉각공기의 흐름을 최대화 하기위하여 통풍홀을 채택한 구조를 사용하고 있다. 표 1.은 고속전철용 견인전동기의 사양을 나타낸 것이고, 그림 3.은 고속전철용 견인전동기의 냉각공기 흐름을 나타낸 것이다.

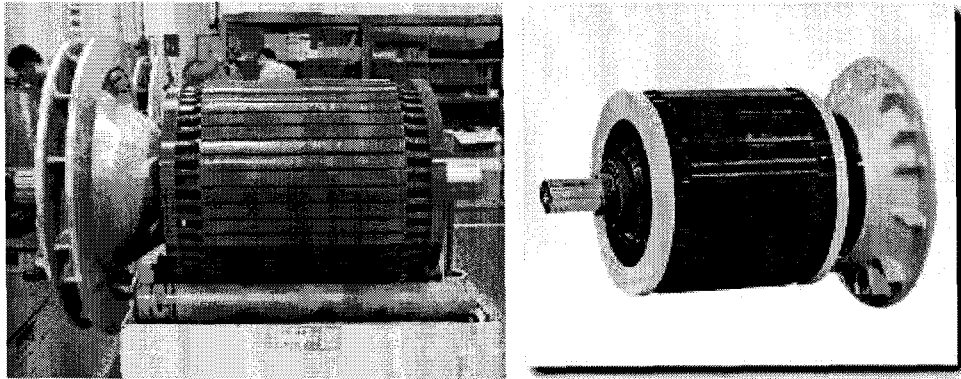


그림 1. 일반 전동차용 견인전동기의 회전자 형상

표 1. 견인전동기 사양

항 목	내 용
형 식	3상 농형 유도전동기
출 력	1100kW
전압 / 전류	2183V/360A
최대 회전수	4100rpm(300km/h)
냉 각 방 식	강제 송풍방식

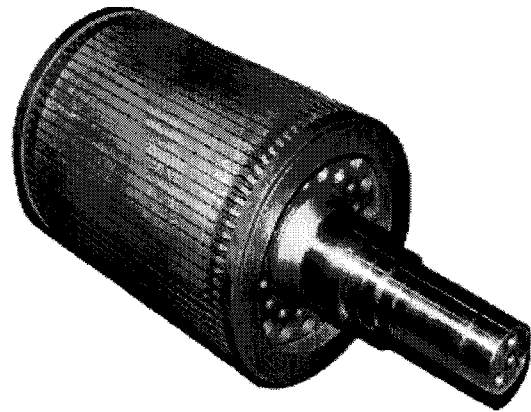


그림 2. 고속전철용 견인전동기의 회전자 형상

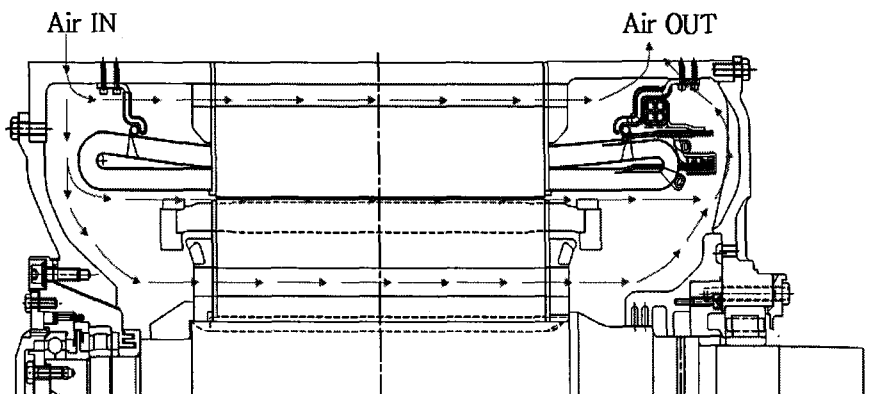


그림 3. 고속전철용 견인전동기의 냉각공기 흐름도

2.2 소음기준

견인전동기의 소음기준은 “무부하 상태에서 정상 운전상태 또는 운전 속도의 범위가 존재하는 경우 최대 운전속도에서 운행되어야 한다”라는 IEC60349-2 부속서 C에 조건에 의거 고속전철의 최대 운전속도 300km/h에 해당하는 4100rpm에서 시험을 하였다. 아래 그림 4.의 소음한계에 의거 113 dB(A)를 기준으로 하였다.

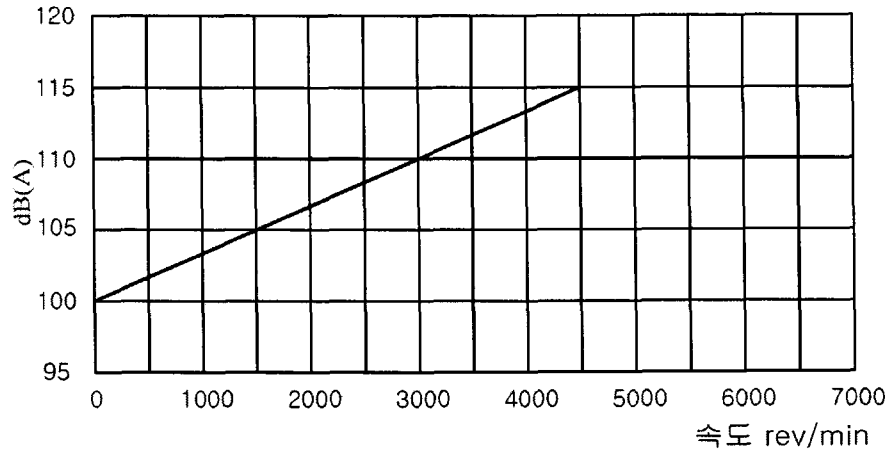


그림 4. 소음한계 기준

소음의 측정 위치는 그림 5.에 나타난 것과 같이 5군데에서 각각 1m 떨어진 곳에서 측정한 후 평균한 값을 측정치로 하였다.

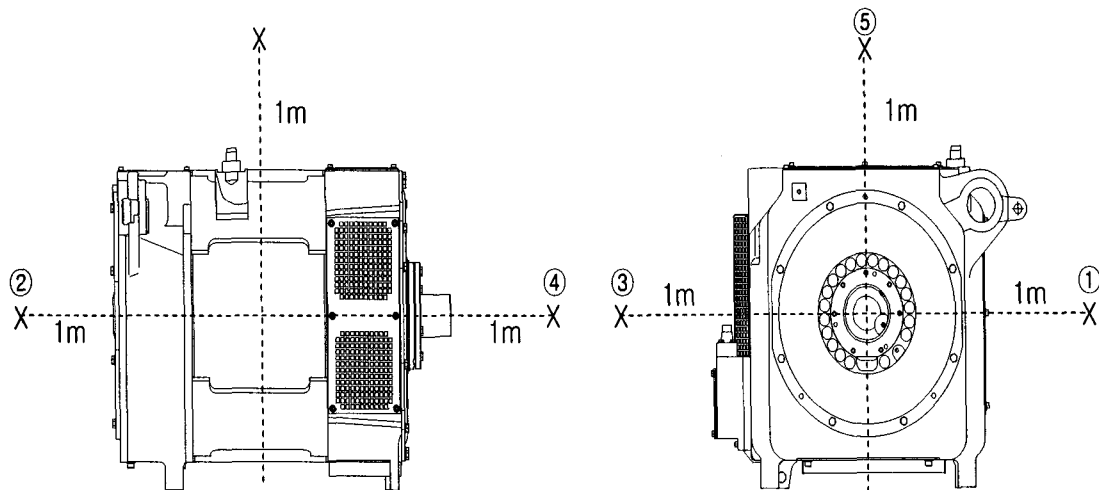


그림 5. 소음 측정 위치

2.3 소음측정

견인전동기의 소음 측정은 그림 6.에서 보는 것과 같이 송풍덕트를 연결한 후 송풍기 전원을 인가하지 않은 상태, 즉 무송풍 상태에서 시험을 실시하였다. 시험은 600rpm에서 시작하여 4100rpm까지 속도를 증가시키면서 시험을 실시하였다. 시험 중 특정영역에서 1800rpm에서부터 3000rpm까지, 430Hz영역에서 시작한 100dB 이상의 과다 울림소음이 운전속도 상승에 따라 일정 상승하는 주파수성분으로 나타났다. 이러한 현상은 속도를 상승시킬 때 뿐만 아니라 최대 운전속도에서 전원을 off한 상태, 즉 shut down 시에도 같은 운전영역에서 이상소음이 발생하였다.

시험 과정에서 보이듯이 이상소음의 원인은 전자기적 소음과 무관함을 의미한다. 그림 6.은 Start-up 시 소음측정결과를 나타낸 것이고 그림 7.은 Shut-down 시 소음측정결과를 나타낸 것이다.

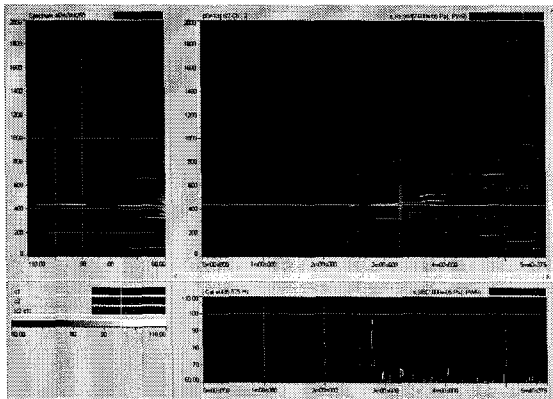


그림 6. Start-up 시 소음

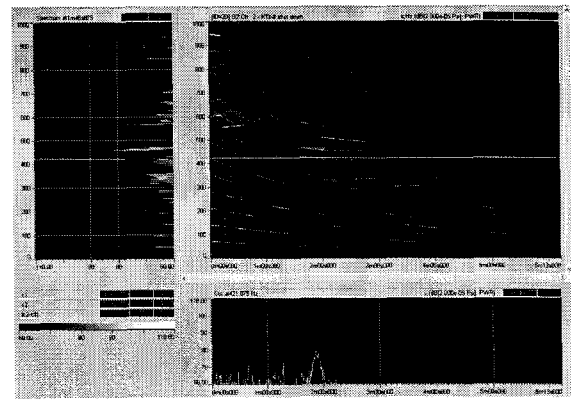


그림 7. Shut-down 시 소음

그림 8.과 그림 9.는 이상 소음발생 영역에서의 소음 특성과 주파수 특성을 나타낸 것으로 그림 9.에서 보는 것과 같이 주파수가 455Hz에서 이상 소음이 최대로 발생하고 있다.

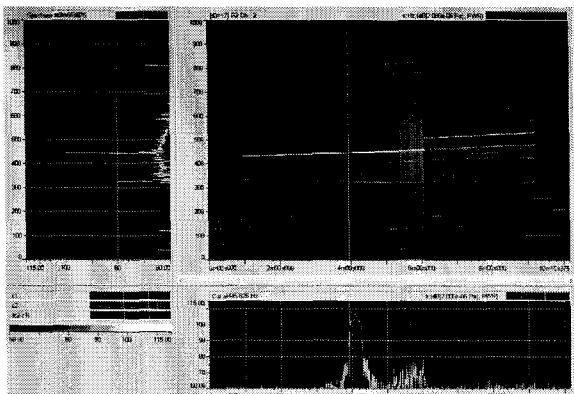


그림 8. 이상소음 발생영역에서의 소음특성

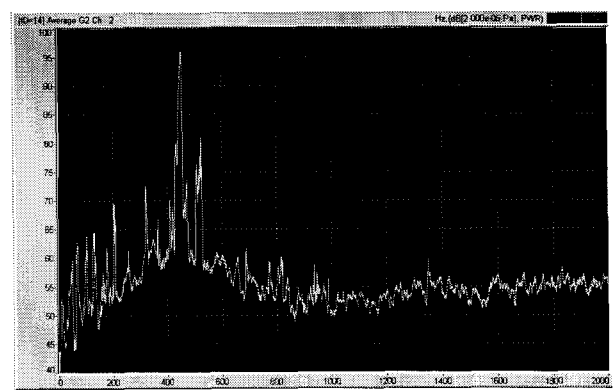


그림 9. 이상소음 발생영역에서의 주파수특성

아래 그림은 최대 운전 상태에서 소음특성을 나타낸 것으로 그림 10.은 무 송풍 상태에서의 소음특성을 나타낸 것이고 그림 11.은 강제송풍 상태에서 소음특성을 나타낸 것이다. 강제송풍상태에서는 그림에서 보는 것과 같이 이상 소음이 없어짐을 알 수 있다. 그림 11.의 전 운전영역에서 일정하게 나타나는 85dB 이하의 56Hz와 770Hz는 냉각용 송풍기에서 발생하는 소음으로 이상소음은 아니다.

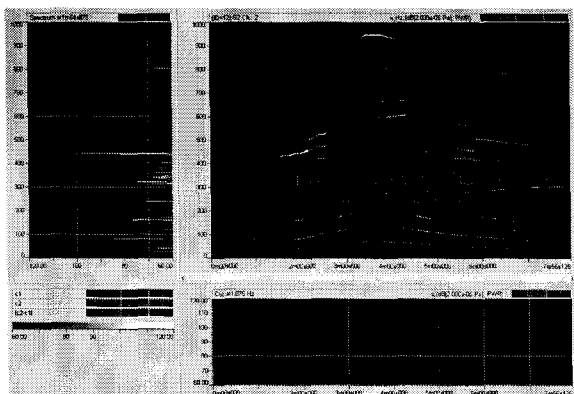


그림 10 무송풍 상태에서 소음특성

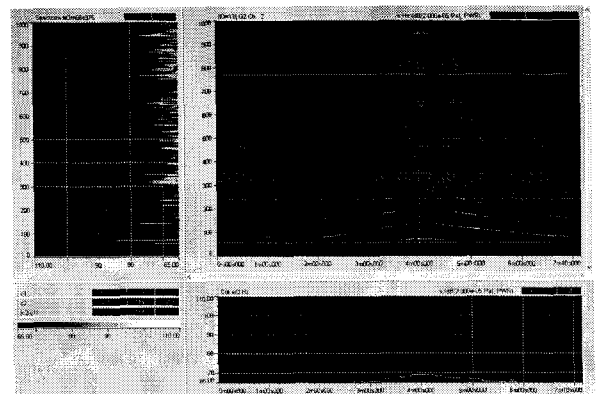


그림 11 강제송풍 상태에서 소음특성

2.4 소음원인 분석

위의 결과로부터 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. 그림 12.는 단순 관의 공명모드를 설명하기 위한 그림이다.

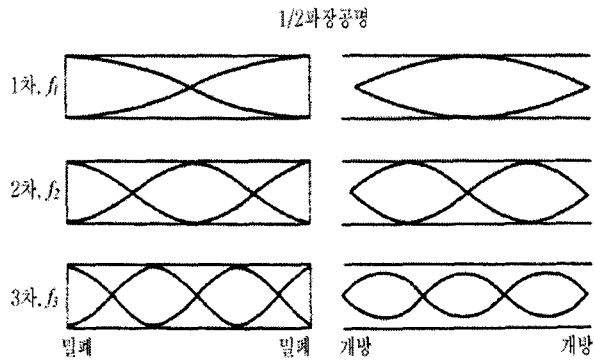


그림 12 단순 관의 공명모드

단순 관의 1/2파장 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 $C = \sqrt{K/\rho}$:음속(압력파의 전파속도),
 K :유체의 체적탄성계수, ρ :유체밀도, $n = 1, 2, 3, \dots$ 이다.

여기에서 고속전철용 견인전동기 회전자의 통풍관 길이 0.380m, $C=340$ m/s이다. 따라서 통풍관의 음향학적 1차 고유진동수는 447 Hz 이다. 이는 측정된 이상소음에서의 주파수특성에서 보인 455Hz(그림 9)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.

2.5 소음개선

그림 13.은 블레이드가 없는 상태에서 무송풍 상태와 강제송풍상태의 소음특성을 측정된 것이고 그림 14, 그림 15, 그림 16은 각각 블레이드 小, 中, 大를 적용하여 무송풍 상태와 강제송풍상태의 소음특성을 측정된 것이다. 표 2는 각각의 소음 측정결과를 나타낸 것이다.

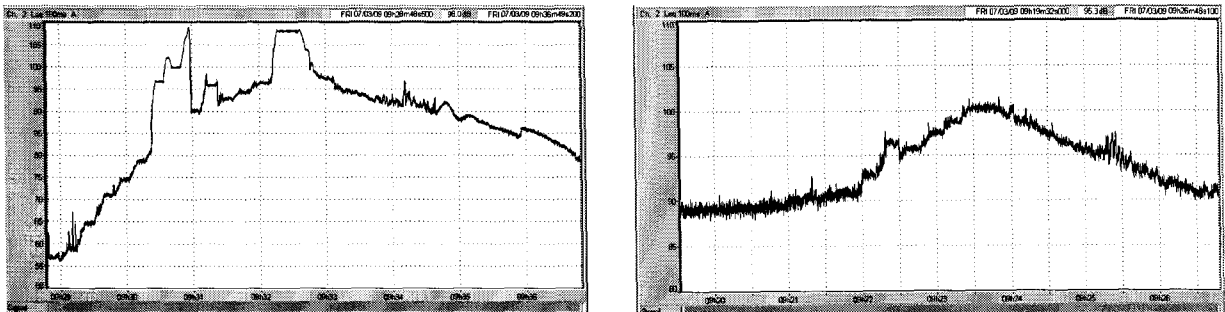


그림 13 블레이드가 없는 상태에서 무송풍과 강제송풍에서의 소음특성

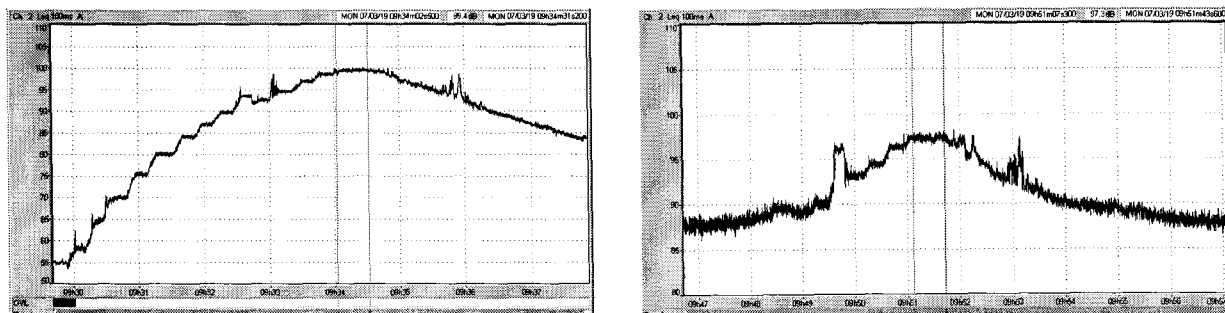


그림 14 블레이드 小를 적용한 상태에서 무송풍과 강제송풍에서의 소음특성

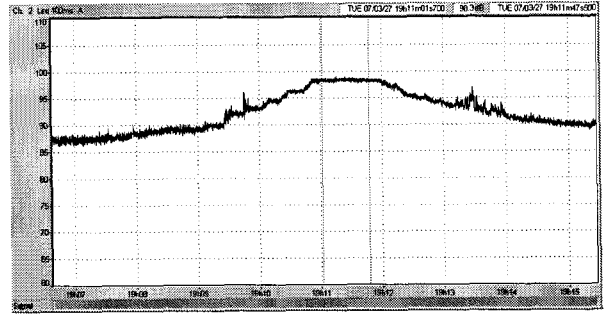
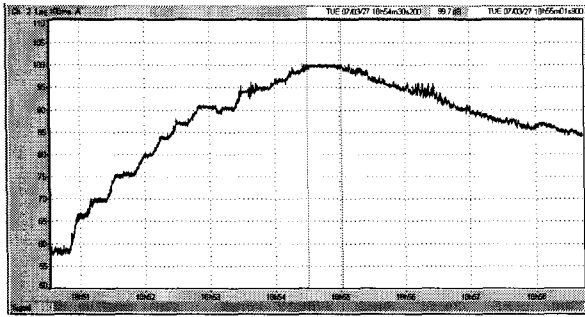


그림 15 블레이드 中을 적용한 상태에서 무송풍과 강제송풍에서의 소음특성

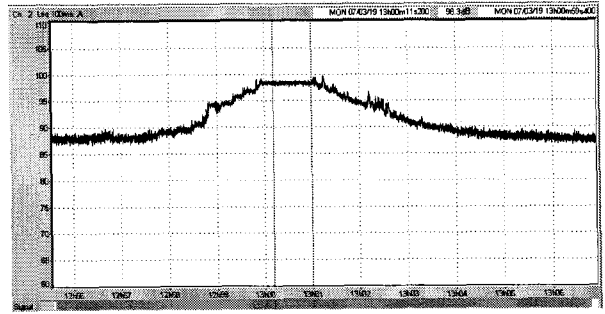
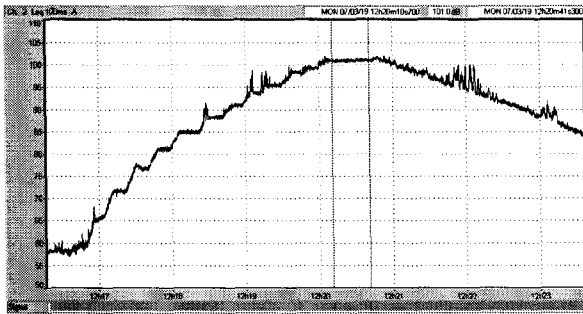


그림 16 블레이드 大를 적용한 상태에서 무송풍과 강제송풍에서의 소음특성

표 2. 소음측정 결과

블레이드 종류	회전수(rpm)	소음측정결과(평균치)
無	4100	108.2
大		100.98
中		99.74
小		98.8(고조파 소음발생)

3. 결 론

이상의 시험결과에서 보듯이 무송풍시 고속전철용 견인전동기의 과다소음을 없애기 위해 회전자 통풍홀에 블레이드를 부착하였으며, 각 블레이드 크기의 변경에 따른 소음레벨의 변화와 주파수의 변화는 그림 14, 15, 16에 나타나 있다. 통풍홀 블레이드 크기에 따라 무부착시에 나타나는 과다소음 영역구간이 없어짐 볼 수 있다. 또한 블레이드 크기의 증가에 이상소음 이외의 소음레벨이 증가함을 볼 있다.

이는 블레이드를 통한 견인전동기 내의 공기 맥동에 변화를 주어, 과다소음 원인이 없어졌으며, 또한 블레이드 자체의 발생 소음으로 인해 이상소음 이외의 전체적인 소음레벨이 증가함을 알 수 있다. 특히, 블레이드 길이가 中일 때 주파수별 소음레벨과 소음특징들이 가장 좋음을 알 수 있다.