

유도전동기의 진동·소음 저감에 관한 연구
" The study of Vibration and Noise Reduction in
Squirrel-Cage Induction Moter "

한국기계연구소
전기시험연구부

이 선 회

1. 서론

전동기에서 발생하는 진동과 소음은 전자기적, 기계적및 공기역학적인 것으로 분류할 수 있으며 이중 큰 비중을 차지하는 것은 전자기적 진동과 소음으로서 특히 전자기적 소음은 그 발생주파수가 1-2KHz 로 가청영역에서 가장 귀에 거슬리는 음이다. 이러한 진동과 소음으로 전동기 각 부위의 진동스트레스에 의한 피로, 베어링 수명의 단명화, 절연수명의 단축, 조임부위의 헐거워짐등을 유발하며 작업자의 청각 장애와 작업능률의 저하를 일으키고 있다. 따라서 전동기의 진동과 소음을 줄이려는 노력이 옛부터 진행되고 있다. (1) 본 논문에서는 소음발생 원인 전자기진력과 이에따른 고정자철심의 응답특성에 대하여 고찰하고 이들의 정량적인 계산과 고정자와 회전자의 공극에서의 현상을 분석하므로써 전동기의 진동과 소음을 저감시키기 위한 연구를 하였다.

2. 본론

2.1 전자기적 진동과 소음의 발생.

전동기에서 발생하는 전자기적 진동은 주로 고정자.회전자의 공극고조파 자속에 의해 다각형의 전자력파가 고정자 철심 FRAME 혹은 회전자를 진동시키므로써 발행하고 이 진동음이 전자기적 소음이다. 공극의 고조파자속은 고정자 회전자의 슬롯조합.권선의 피치,공극의 편심, 자속밀도등에 의하여 이들의 고조파 자속의 상호간섭에 따라 주기적인 전자력파를 발생한다. 이 역파에 의한 진동음은 역파의 진폭,차수(MODE)와 고정자 철심, FRAME 의 강성등에 의해 결정된다.

2.2 전자력파의 계산

유도전동기에서 공극내에서 발생하는 고조파는 슬롯퍼미언스 고조파및 회전자 teeth와 고정자 teeth간의 고조파등이 있으며 이들의 상호간섭에 의해 전자력파가 발생한다. (2)

이 역파를 계산하면 식(1), (2)와 같다.

$$F_k = \left[\frac{2Z_r}{P} (1 - s) \right]^{2K} f_0 \dots\dots\dots(1)$$

$$K = Z_r - Z_s \dots\dots\dots(2)$$

- Z_r : 회전자의 슬롯수
- Z_s : 고정자의 슬롯수
- P : 극 수
- f₀ : 전원주파수
- S : 슬립
- K : 역파의 차수 (mode)

이 식에 따라 본 연구에 사용된 전동기의 전자력파의 주파수를 계산해 보면

전동기의 일반사양

- 출력 : 3.7 Kw 극수 : 4극
- 전압 : 220 V 주파수: 60Hz
- 상수 : 3상 회전자의형식:농형
- 고정자슬롯수: 36 회전자슬롯수: 45

전원주파수 60 Hz 로 무부하운전을 한 경우

- 1) 1110 Hz, 2) 1230 Hz
- 3) 1350 Hz, 4) 1470 Hz
- 5) 1590 Hz

그림1은 전동기 FRAME 중앙에서 측정된 진동주파수 스펙트럼으로 피크치는 1470 Hz, 1350 Hz임을 보여주고 있다.

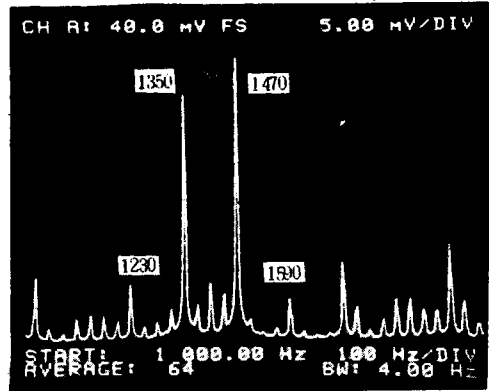


그림1. 전동기 FRAME 의 진동 주파수 스펙트럼.

2.3 고정자 철심의 고유진동수

2.3.1 고유진동수 계산

고정자를 두꺼운 연통으로 가정하고 해석적인 운동방정식을 풀어 구할 수 있다.

계산식은 (3)과 같다. (3)

$$F_r = \frac{\sqrt{3}}{6Z_c} \cdot \frac{K}{R_c} \cdot \sqrt{\frac{E_e \cdot g}{r_e}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 2}{n(n-1)^2} \cdot \frac{1}{n^2+1}} \dots\dots\dots(3)$$

- R_c : 등가반경
- R₁ : 고정자의 외경
- R₂ : 고정자의 내경
- K : 두께 비
- E_e : 등가 young 율
- r_e : 등가비중

이 식을 이용하여 본 연구에 사용된 전동기 고정자의 고유진동수를 계산한 결과를 실험에서 얻어진 측정치와 함께 표 1에 나타냈다.

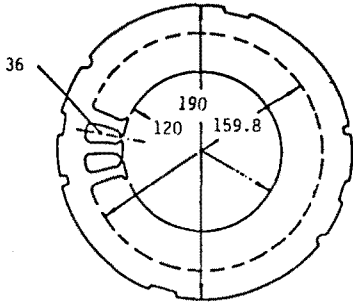


그림2. 고정자철심 (단위: mm)

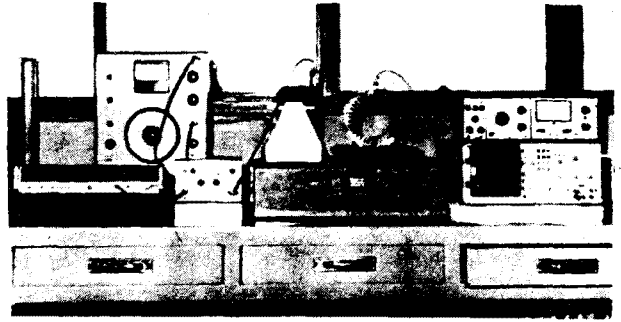


사진1. 실험장치

2.3.2 고유진동수 측정

측정방법은 다음과 같다.

- 1) 철심은 외부 진동으로부터 영향을 받지 않도록 탄성이 있는 고무판위에 설치하였다.
- 2) 철심에 가해지는 가진력 (exciting force)는 shaker 를 이용하였다.
- 3) 외부에서 가해지는 가진력은 가장 높은 peck 치를 나타내도록 주파수를 변화시켰으며 FFT 분석기를 이용하여 진폭과 주파수를 측정 하였다.

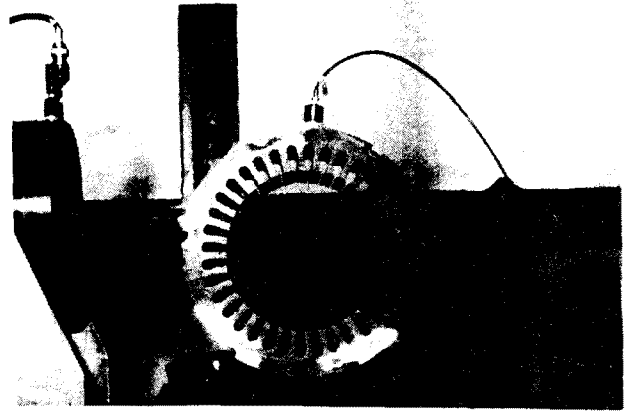


사진2. 실험모델

그림3은 실험장치의 개요도이고 사진1.2는 실험장치와 실험모델이다. 이 결과를 표1에 나타내었다.

표1. 고유진동수 실측치와 계산치의 비교.

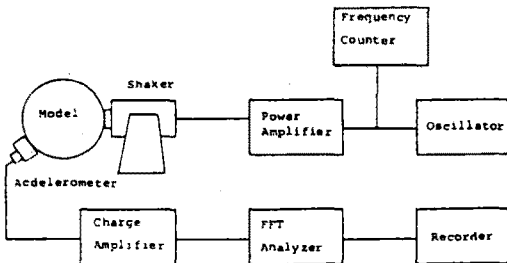


그림3. 실험장치의 개요도

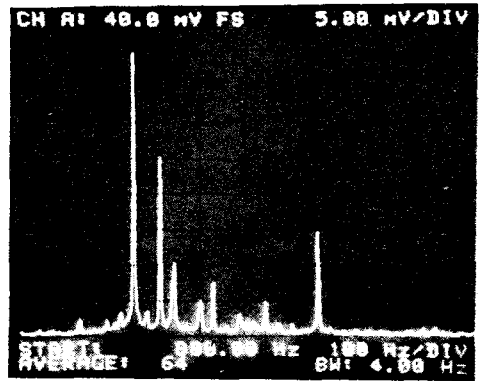
mode	실측치 (Hz)	계 산 치	
		주파수 (Hz)	오 차 (%)
2	976	945	3.2
3	2782	2676	3.9
4	4681	5130	9.6
5	7318	8297	13.3

2.4 철손·공극 및 wedge 에 따른 진동·소음

전동기를 표2에서와 같이 6가지 모델로 나누어 측정하였다.

표2. 각 모델의 분류

	1	2	3	4	5	6
철 손 mm	225.27	355.61	237.99	361.00	273.40	379.60
공 극 mm	0.3	0.3	0.35	0.35	0.4	0.4
전선고정방법	wedge	film	film	wedge	wedge	film
보 실 제 질	규소강판	철판연시리	규소강판	철판연시리	규소강판	철판연시리
효 율 %	87	84	86	83	86	83
탐 측 방 법	예열고온하침	정상온도하침	정상온도하침	정상온도하침	정상온도하침	예열고온하침

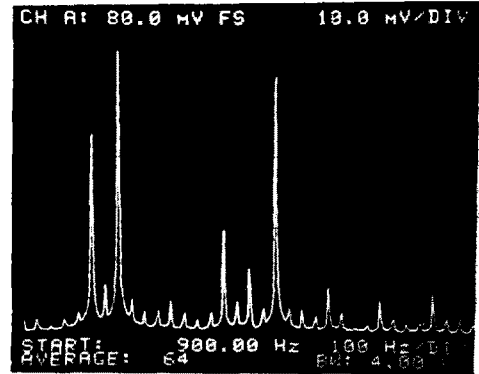


(a) 모델 1

2.4.1 진동 분석

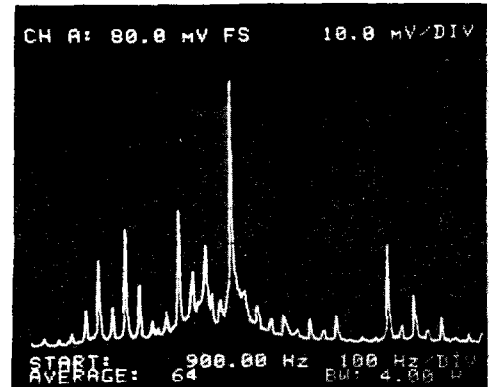
철손의 차에따른 진동을 비교하기 위해 모델1과 2의 진동주파수 스펙트럼을 분석하였다. 그림4에서 보는 바와같이 철손이 많은 모델2의 진동 Level 이 높게 나타나고 있으며 이의 원인은 철손의 증가가 거의 자속밀도의 증가를 의미하며 이는 공극내에서 자속밀도의 2승에 비례하는 전자기전력 위 증가를 초래하여 높은 Level 의 진동이 발생하게 되었다.

다음은 공극 길이의 차에대한 진동을 보면 그림5에서 보는바와 같이 모델2쪽의 진동이 높게나타나고 있다. 이것은 공극이 좁아짐에 따라 누설자속이 감소하고 자속맥동이 증가하여 전자기전력의 증가를 유도하였기 때문이다.(4)

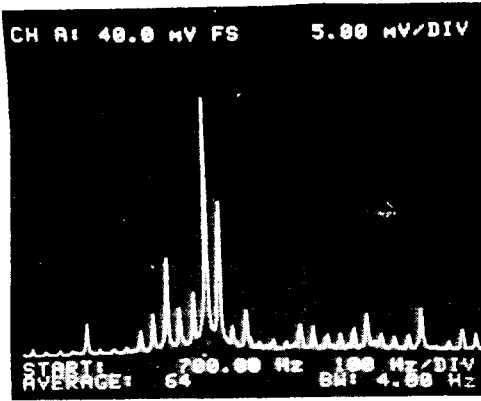


(b) 모델 2

그림4. 모델1과2의 진동주파수 스펙트럼

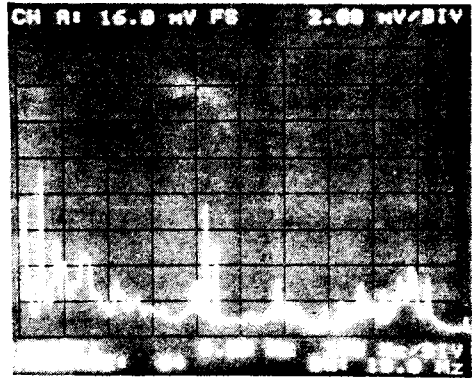


(a) 모델 2



(b) 모델 6

그림5. 모델2와6의 진동주파수 스펙트럼



(b) 모델 6

그림6. 모델4와6의 소음주파수 스펙트럼

2.4.2 소음분석

6개의 모델중 가장 소음이 높고 귀에 거슬리는 음을 발생하는 것은 모델4이다. 즉 4의 경우 소음 Lebel은 72dB 이고 모델6의 경우 63 dB 로 9dB의 차를 보여주고 있다. 그림6에서 보는바와같이 모델4의 경우 1480Hz 에서 주파수 성분이 높게 나타나고 있는데 이것은 전자기진력에 의한 진동음이 공극내에서 공명하기 때문이다.

고정자와 회전자의 관계를 동심2중원통으로 보고 원통내의 공명주파수를 구하면 식(4)와 같다.

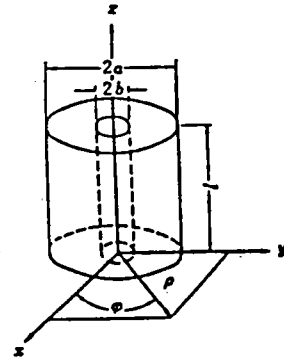
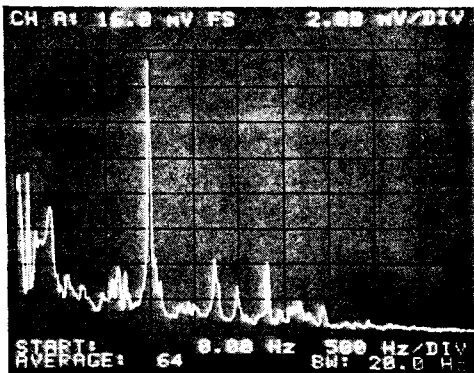


그림7. 동심2중원통

$$F_{m,n,s} = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a-b}\right)^2 + \left(\frac{2n}{a+b}\right)^2 + \left(\frac{s\pi}{L}\right)^2} \dots\dots\dots(4)$$

여기서 C는 음속이고 m,n,s는 각각 반경, 원주 및 원통방향의 mode 이다. 이식을 이용하여 두 모델의 공명주파수를 계산하면 표3과 같다.



(a) 모델 4

표3. 모델4와6의 공명주파수

mode m . n . s	모델 4 (Hz)	모델 6 (Hz)
1 5 2	485	425
2 4 4	971	850
3 5 4	1457	1275
4 3 2	1943	1700

여기서 모델 4 : a = 60.35 mm b = 60.00 mm l = 100.00 mm
 모델 6 : a = 60.40 mm b = 60.00 mm l = 100.00 mm

모델4의경우 특히 wedge가 있으므로 해서 전동기의 소음이 크게 영향을 받고 있으며 이것은 공극내에서 wedge 에 의해 2차적인 공명현상을 일으키기 때문이다.

이 현상은 고정자가 mode에 따라 구부림 진동을 할때 슬롯사이의 절연물은 young율이 약 50 Kg.f/mm² 이 되고 young 율이 낮은 힘이 가해질때는 압력에 비례해서 증가하나 그 이상에서는 wedge의 영향을 받게된다.

wedge의 young율은 재질에 따라 차이가 있으나 약 1100-1300 Kg.f/mm² 가 되므로 외부의 힘에 어느정도 형상을 유지하게 된다. 이 형상 유지에 따라 wedge와 회전자 사이에 공명주파수가 발생하게 된다.

3. 결론

- 1) 전동기의 진동과 소음은 전자가진력이 그 원인이 되며 이것이 고정자의 진동 응답을 통하여 발생하게 된다.
 따라서 전자가진력과 고정자 고유진동수의 분석이 매우 중요하며 전자가진주파수와 전동기 고정자의 고유진동수의와의 일치를 피해야 한다.

2) 공극내에서 자속밀도의 집중을 피해야 한다. 즉,

- (1) 공극의 균일성을 유지하고
- (2) 전동기 설계시 철손을 최대한 줄이며
- (3) 고정자와 회전자의 길이를 조절하여 자속의 집중을 피해야 한다.

3) 국산 전동기에서 채택하고 있는 공극의

크기는 0.35mm로 하고 있으나 이는 자기소음이 고정자 사이에 공명을 일으키는 가장 최적의 조건이 되므로 전동기 설계시 회전자의 슬롯수를 변화시키거나 공극의 길이를 조절해야한다.

4) 전동기 권선의 고정방법으로 wedge를 사용하고 있으나 이는 자기소음을 증가 시키는 원인이 되므로 wedge 의 사용을 피하고 함침 방법의 개선과 film을 사용하여 고정하는 방법을 채택하여야 한다.

4. 참고문헌

- 1) L.E.Heldebrand: "Quiet Induction Motors" AIEE,49.1930
- 2) Faumitoshi Saito: "Experimental Investigation of Magnetic Motors" National Technical Report,Voll17, No.4,1971.
- 3) A.H.Love: "Mathematical Theory of Elasticity",Cambridge at the university press,1934.
- 4) C.G.Voinott: Theory and Design of Small Induction Motors" MCGRAW-HILL,1959.