

가전기기용 소형모터의 소음분석 및 저감법  
(제 1 보 : SKEW 형태 및 각도의 영향 분석)

윤 태환, 안 병하, 박 종진, 정 동일, 황 근배  
金屋社 昌原電機研究所

NOISE OF HOME APPLIANCE MOTOR  
(1st; Effect of Skew Angle and Type)

T.H.YOON, B.H.AHN, J.J.PARK, D.I.JEONG, G.B.HWANG  
GOLD STAR Co.,Ltd. CHANGWON ELEC. AND MECH. R&D CENTER

ABSTRACT

This paper shows an experimental study of home appliance motor noise, also represents some relations between skew-types and skew-angles. Frequency analysis was made for stator and rotor harmonic fluxes, making use of searching coils.

Besides electrical analysis, mechanical noise transmission analysis are studied to see how they affected on the noise of the motor.

Finally, we proved the noise sources of the motor using sound intensity method.

1. 서론

최근 생활 패턴의 변화에 힘입어 자동화와 저진동 저소음에 대한 소비자들의 관심이 고조되면서, 전동기를 사용하는 가전기기의 보급이 급속히 증가함에 따라 모터의 저진동 저소음에 대한 연구가 국내외적으로 활발히 이루어지고 있다.

일반적으로 가전기기용 소형유도전동기의 소음발생 원인은 1)전자기음, 2)기계전달음, 3) FAN과 관련된 통풍음으로 대별되고 있고, 이들 각부분에 대한 연구가 진행중이다. 본 보에서는 가전기기용 분수마력 유도모터에 있어서 SKEW의 형태, SKEW ANGLE이 모터의 소음 특성에 미치는 영향을 분석하고, 발생음의 주파수 성분과 이론식을 비교하였으며, 모터에서 발생하고 있는 자력선의 모드를 CROSS-SPECTRUM 기법을 이용하여 실제측정을 시도했으며, 이론과 실험에서 나타난 주파수에 대해 SOUND-INTENSITY 기법을 이용하여 소음원의 전달 경로를 분석하여 실제 모터에서 발생하는 소음원에 대한 대책이 가능하도록 하였다.

2. TEST PROCEDURE

본 실험에서 사용한 모터의 사양은 표1과 같으며, 제작한 모터의 SKEW 형태와 각도별 분류는 표2와 같다.

표1. 모터사양

MOTOR SPECIFICATION	
OUTPUT (WATT)	: 290
NUMBER OF POLES	: 4
VOLTAGE (VOLT)	: 220
SOURCE OF FREQ. (Hz)	: 60
NUMBER OF PHASE	: 2
TYPE OF ROTOR	: SQUIRREL CAGE
STATOR BORE (mm)	: 698
CORE LENGTH (mm)	: 48.3
NUMBER OF STATOR SLOT	: 34
TYPE OF STATOR SLOT	: SEMI-OPEN
NUMBER OF ROTOR SLOT	: 24
TYPE OF ROTOR SLOT	: SEMI-OPEN
AIR GAP LENGTH (mm)	: 0.2

표2. 각도별 분류

SKEW TYPE	ANGLE(DEC)	MOTOR NO.
V	11.0	18,21
	9.6	22,26,2,3,4
	7.8	28,29,5,6,7
I	9.6	51,52

3. 소음 특성 해석

3-1. 전자기 소음

전자기 소음의 주류는 기본파에 의한 성분과 SLOT COMBINATION에 의해서 발생하는 성분이 있고, 전원전압이 불평형인 경우 고정자 권선의 불평형이나, 자기 흡인력에 따른 자극과 극수의 관계에서 전원주파수의 2f 음이 발생한다. 여기서는 SLOT COMBINATION에 의해서 발생하는 전자기음과 FORCE WAVE에 대하여 분석하고자 한다.

3-1-1. SLOT COMBINATION

AIR GAP 에서 발생하는 고조파 자속 B 는 고정자의 n차 고조파 자속 Bsn과 고정자의 n차 자속에 의한 회전자 n'차 고조파 자속 Brn'와의 총합으로 표시된다.

$$B = \sum_n Bsn + \sum_{n'} Brn' \quad (1)$$

동형유도 전동기에서는 n'=kZr + n 의 관계가 성립된다. (k:정수, Zr:회전자 SLOT수) 이때 고정자와 회전자간에 상호작용하는 반경방향의 전자기력 Fr 은

$$Fr = E' \times 8\pi \quad (\text{dyne/cm}^2) \quad (2)$$

로 주어지게 되고 (1)식을 (2)식에 대입하면 회전자와 고정자의 연관된 항이 발생하는데, 통상의 자기유은 이하에 의해 발생한다.

고정자, 회전자 상호작용에 의한 힘은

$$Bsn Brn' = \frac{1}{2} B_s B_r [ \cos((n'-n)(1-S)\omega t/P - (n'-n)\alpha_x) / Pz ] - \cos((2+(n'-n)(1-S)/P)\omega t - (n+n')\alpha_x) / Pz ] \quad (3)$$

P:극대수

Z:극간격

S:SLIP

여기서 주파수 fm은 m = n' - n 에서 m = |Zs - Zr| 일 경우

$$fm = Zr(1-s)f/P \quad (4)$$

m = n' + n 에서 m = Zs + Zr + 2P 이면

$$fm = (2 - Zr(1-S)/P) f \quad (5)$$

m = Zr - Zs + 2P 이면

$$fm = (2 + Zr(1-S)/P) f \quad (6)$$

의 식으로 주어지게 된다.

f:전원주파수

Zr, Zs:회전자, 고정자 SLOT 수

3-1-2. FORCE WAVE

고정자의 BORE 주변에서 일어나는 자기력을 측정하는데 있어서 종래의 많은 논문들이 주파수와 WAVE에 대하여는 하였지만 실제 측정하는 논문은 매우 드물며, 또 측정하는 방법 자체가 전 CORE에 걸쳐서 모두 서어칭 코일을 감아야 하는 단점과, 많은 장비들을 보유해야만 가능했다. 여기서는 그림1과 같은 측정 시스템으로 n = 고정자 SLOT수 / POLE수 (n은 정수) 가 되는 고정자 치에 서어칭 코일을 감고 그중 i번째치에 유기되는 전압은

$$V(i) = d\phi / dt \quad (7)$$

자속 밀도는

$$Bi(t) = \phi i / A = \int Vi(t) dt / A \quad (8)$$

(A는 치의 단면적)

따라서 i 번째 치에 작용하는 기자력은

$$Fi(t) = [Bi(t)]^2 = [\int Vi(t) dt]^2 / (2\mu_0 A) \quad (9)$$

(μ<sub>0</sub>는 공간의 자화율)

여기에서 i번째 치에서 j번째 치 사이의 CROSS SPECTRUM 에서 크기와 위상값을 측정하면 주파수에 대한 위상을 FFT에서 얻을수 있다.

위상에 의한 크기를 그리면서 1/pole에 해당하는 원의 FORCE WAVE를 그릴수 있는데, 이는 그림2의 데이터에서 그림3과 같은 FORCE WAVE를 얻을수 있다.

3-2. 기계음

전자가전력이 고정자에 가해지면 그 진동이 프레임으로 전제되면서 교체전달음이 발생하는 경우가 많다. 특히 모터에서는 전자가전력의 영향을 분석하기 위하여 결합부 각 부위의 진동특성을 파악하는 것이 필요하다.

3-2-1. 고정자 고유진동수

고정자의 고유진동수를 평가하는 방법이 여러가지 있지만 본보에서는 다음과 같은 식을 사용하였다.

$$fr_1 = \sqrt{3} K / (6\pi R_c) \sqrt{(E_e g / \gamma_e)} \sqrt{n^2(n-1)^2(n+1)} \quad (10)$$

$$R_c = r_1 + (r_2 - r_1) / 2$$

$$k = h / R_c$$

r<sub>1</sub>, r<sub>2</sub> : core의 내경, 외경

E<sub>e</sub> : 등가영률

γ<sub>e</sub> : 등가 비중량

g : 중력가속도

h : core의 두께

n : 정수 (공진차수)

$$fr_2 = (h^2 E_e / (12 R_c G \beta)) \sqrt{1 / (1 + n^2 \alpha)} \quad (11)$$

$$\alpha = (h^2 E_e / (12 R_c^2 G \beta))$$

G : 횡단성계수

β : 전단계수

위 두식과 실험치를 비교하였는데 그 결과로는 표3과 같으며 그림4는 실험데이터이다.

표3. 고정자 고유진동수

모드	실험치	fr <sub>1</sub> (오차)	fr <sub>2</sub> (오차)
2	88 Hz	93.8 Hz(7%)	92.6 Hz(5%)
3	252	265.4 (5%)	257.8 (2%)
4	514	508.8 (1%)	483.7 (6%)
5	788	822.8 (4%)	762.0 (3%)
6	1202	1207.0 (0%)	1084.0 (10%)

3-2-2. 프레임 및 회전자

실제 이부분은 FEM이나 아니면 다른 이론적 해석이 가능하지만 실제와는 오차가 매우 많아 가정하기에 따라서 값이 매우 틀리기 때문에 본보에서는 실기의 진동전달함수를 구하여 그림5에 나타내었다.

4. 실험결과 분석 및 고찰

그림1에서 나타낸 실험장비로써 실험을 수행한 결과는 표4와 같다. 본 실험은 무부하 상태에서 고정된 형태로 실험하였다.

표4. 소음 실험표

SKEW TYPE	SKEW ANGLE(DEC)	TOTAL NOISE	MOTOR NO.
V	11.0°	51.8 dBA	A
	9.6°	49.0	B
	7.8°	52.4	C
I	9.6°	51.8	D

여기서 V-SKEW에 있어서 각도에 따른 소음추이는 외국의 논문들과도 비슷한 경향을 보이고 있으나, 같은 각도에서의 I-SKEW와 비교하면 3dB 정도의 소음 저감효과가 있음을 알수 있다. 여기에서 실제 소음 저감 형태와 영향분석을 위하여 전자기음과 기계음의 형태에 대하여 각각 분석해 보았다.

4-1. 전자기음

전자기음에 있어서 2f 주파수를 포함한 기본주파수에 대한 소음 특성은 표5에 나타내었고 SLOT의 조합에 의한 식(4),(5),(6)에 따른 SLOT 고조파에 대한 소음특성을 표6에 나타내었으며, 관련 데이터는 그림6에 있다.

표5. 기본주파수 성분의 전자기음에 대한 영향

S/T	ANG	2f	4f	5f	6f	7f	8f	10f
V	11.0°	43.0	36.0	25.5	37.0	23.0	48.1	22.0
	9.6°	45.7	39.0	-	38.0	27.0	35.0	28.0
	7.8°	44.0	45.0	-	20.0	23.0	29.0	37.0
I	9.6°	47.1	41.0	-	22.0	23.0	32.0	45.0

- 는 20dBA 이하  
단위는 dBA 임

표6. SLOT고조파에 의한 전자기음의 영향

S/T	ANG	698	818	938	1058	1178
V	11.0°	-	-	32.0	-	21.0
	9.6°	23.0	-	20.5	-	-
	7.8°	22.0	-	-	20.5	-
I	9.6°	27.0	-	20.0	24.0	22.0

- 는 20dBA 이하임  
단위는 dBA 임

표5에서의 같이 기본주파수에서 저차주파수는 I-SKEW보다 V-SKEW가 낮은 반면 600Hz 이상에서는 그 반대 현상을 나타내며, V-SKEW에 있어서도 저주파수에서는 변화가 없지만 600Hz 이상에서는 SKEW각도가 작으면 소음에는 좋은 효과를 보인다. 반대로 전자기음이 가장 심한 600-800Hz

부근에서는 표6에서의 같이 I-SKEW가 V-SKEW 보다 훨씬 소음대역이 높으며, 이것은 V-SKEW가 전자기음 저감에 효과적임을 보여준다.

4-2. 기계전달음

고정자에서 발생할수 있는 기계전달음은 식(10)과 (11)에 의해서 계산되어 질수 있는데, 고정자 고유진동수 부근의 소음특성은 표7과 같다.

표7. 고정자의 고유진동수 부근의 소음특성

S/T	ANG	252	514	1016	1202	1568	468 *
V	11.0°	-	33.0	-	-	-	28.0
	9.6°	23.0	29.0	28.0	28.0	22.0	-
	7.8°	-	32.0	-	21.0	-	29.0
I	9.6°	35.5	31.0	30.0	25.5	-	-

- 는 20dBA 이하  
\* 는 회전자 고유진동수  
단위는 dBA 임

여기서도 회전자의 고유진동수 부근이나 고정자의 고유진동수 부근 모두 I-SKEW는 저주파수에서 민감한 반면 V-SKEW는 전주파수에 걸쳐서 고른 분포를 보이고 있으며 11.0°와 7.8°에서는 공허 514Hz에서 민감한 반응을 보이고 있다.

4-3. 소음전달 경로

앞에서 언급한 기계전달음, 전자기음의 음원을 찾기 위하여 모터 상방 5cm 지점에 7 x 7 의 그리드를 만들어 SOUND-INTENSITY를 측정하였다.

그리고 기계음 해당주파수와 전자기음, 그리고 전체적인 소음주파수의 등고선을 투사하였으며, 그 결과는 그림7에 나타내었다.

그림7에서 보여주는 바와 같이 전자기파에 의한 소음원은 중심을 겹쳐서 밖으로 전달되는 형태를 보여주고있으며, 기계전달음은 본포가 외곽선, 중심축 부분으로부터 산개되어 있는 것을 알수 있는데, 이것은 모터의 소음원이 전자기음의 경우는 중심부위 AIR GAP에서 밖으로 빠져나가고, 기계전달음은 외곽의 고정자나 프레임틀 통하여 빠져나가는 것을 알수 있었다.

5. 결론

가전기기용 분수마력모터에 있어서 회전자 SKEW의 모양과 각도가 전자기음 및 기계전달음에 미치는 영향을 분석하였으며, 그 결과를 요약하면 아래와 같다.

- (1) 같은 SKEW 각도일 경우 I-SKEW 보다 V-SKEW가 소음에는 유리하고,
- (2) 전자기음의 저감에는 I-SKEW 보다 V-SKEW가 효과적이며,

(3) 서어칭 코일을 이용한 CROSS SPECTRUM으로 전자기력 파의 형태를 실측할수 있었고,

(4) 주파수 성분에 따른 전자기력과 기계전달음과의 상호관계를 SOUND INTENSITY 기법으로 규명할수 있었다.

REFERENCE

1. F.Kako, T.Tsuruta, K.Nagaishi and H.Kohno. "Experimental Study on Magnetic Noise of Large Induction Motors", IEEE PAS-102, 2805-2810, 1983
2. John R.Brauer "Magnetic Noise of Induction Motors" IEEE PAS-95,66-73,1976
3. Fumitochi Saito, Sotomitu Maeda "Experimental Investigation of Magnetic Noise in Polyphase Induction Motors", NATIONAL TECH. REPORT, Vol17, No.4, AUG 341-349,1971
4. Kunio Tajima, Hisayuki Koya, Kazuo Nemoto "Magnetic Noise of Fan Motor" HITACHI REVIEW, Vol.51, No.10, 42-48, 1969

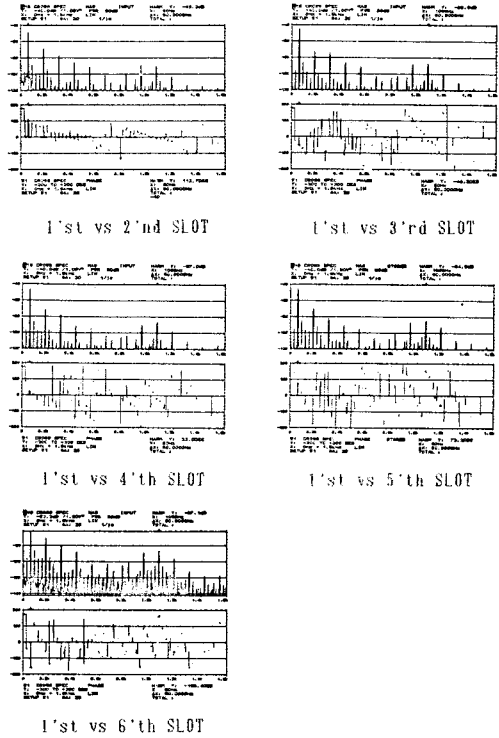


그림 2. CROSS SPECTRUM & PHASE

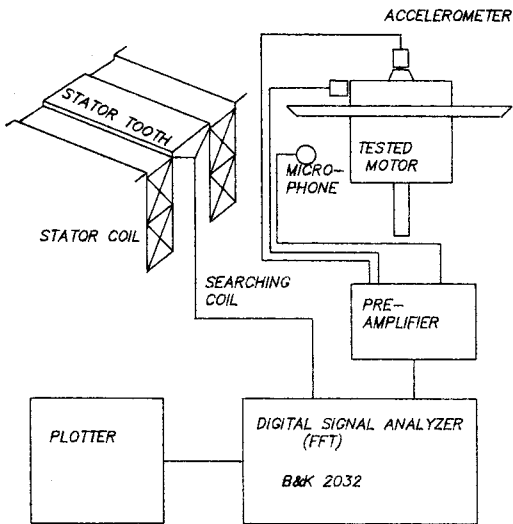


그림 1. 측정시스템

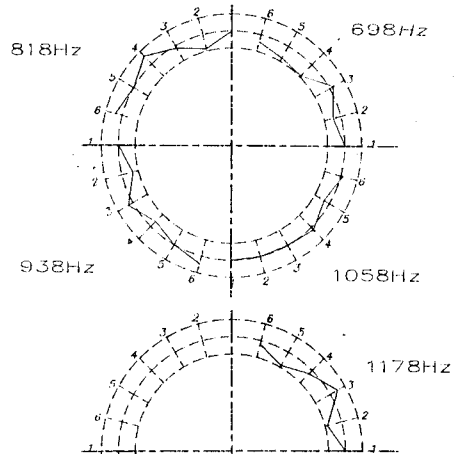


그림 3. FORCE WAVE

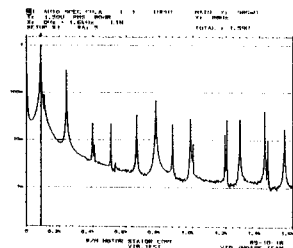
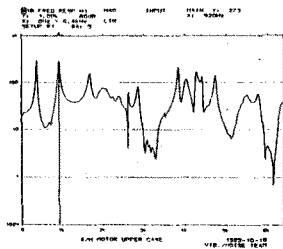
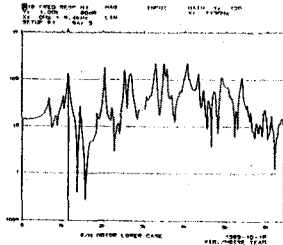


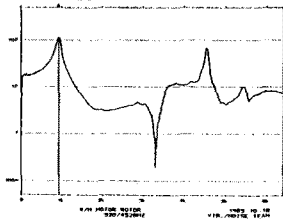
그림 4. SPECTRUM OF STATOR CORE



UPPER FRAME

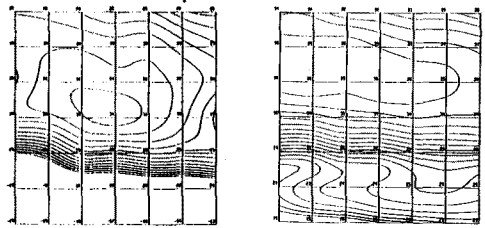


LOWER FRAME

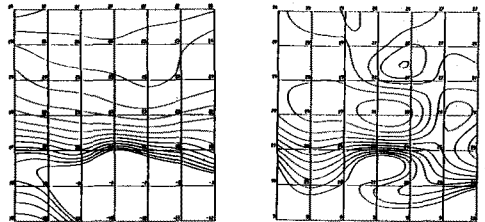


ROTOR ASM.

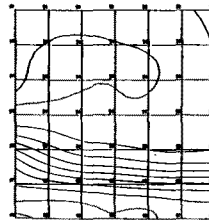
그림 5. FREQUENCY RESPONSE



A. 전자기음 (240,690 Hz)



B. 기계전달음 (510,1020 Hz)



C. OVERALL (0-1600 Hz)

그림 7. SOUND INTENSITY OF MOTOR

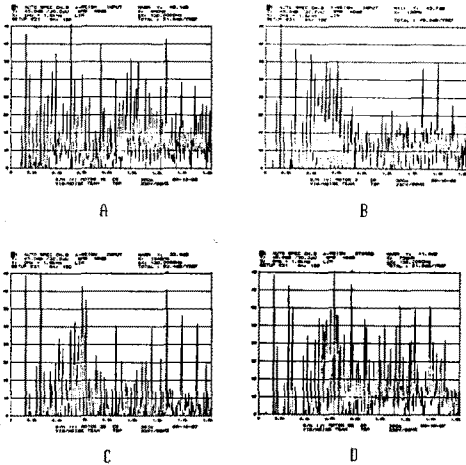


그림 6. NOISE SPECTRUM OF SKEW MOTOR